

# 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 з навчальної дисципліни  
«Основи наноматеріалів та нанотехнологій»,  
складається в межах ОПН підготовки доктора філософії  
третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти  
для здобувачів за спеціальністю 132 Матеріалознавство**

## 1. Загальна характеристика курсу

<b>Назва дисципліни</b>	<b>Основи наноматеріалів та нанотехнологій</b>
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	вул. Омеляна Пріцака (Кржижановського), 3, Інститут проблем матеріало-знавства 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.т.н., проф., академік НАН, А.В.Рагуля
<b>Контактна інформація викладачів</b>	067 759 4987 ragulya@ipms.kiev.ua
<b>Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються</b>	В дні лекцій за попередньою домовленістю
<b>Інформація про дисципліну</b>	В курсі викладаються основи сучасного матеріалознавства наноструктур. 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 майже 4 трлн доларів США у 2021 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.
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	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 НАН України в 2 семестрі в обсязі 2 кредитів (60 год), з них 30 год аудиторних занять (22 год лекційних і 8 год практичних) за кожним кредитом (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	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

	<p>використовувати нанодисперсний стан речовини для керування технологічним процесом виготовлення виробів, управління структурою та властивостями матеріалів.</p> <p>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.</p> <p>Результатом навчання за курсом буде система знань у аспіранта з приводу наноматеріалів</p>
<b>Вимоги навчальної дисципліни</b>	<p>Курс є базовою дисципліною аспірантів.</p> <p>Обсяг курсу – 2 кредиту ECTS, з них 30 год аудиторних занять (22 год лекційних занять, 8 год практичних) та 30 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.</p>
<b>Підсумкова форма контролю знань</b>	Екзамен
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p><b>Результатом навчання за курсом буде система знань у аспіранта з наноматеріалів:</b></p> <p>- <b>знати:</b> Теоретичні основи будови, властивостей і методів отримання наноструктур і наноструктурних матеріалів, достатні для самостійного подальшого проведення досліджень в цієї галузі і наступного оволодіння нанотехнологіями.</p> <p>- <b>вміти:</b> Аналізувати сучасну літературу з наноматеріалів, вибирати методи синтезу (отримання) наноструктур, консолідації тривимірних матеріалів, отримання тонких плівок, адаптувати знання при виконанні власних дисертаційних досліджень.</p>
<b>Ключові слова</b>	<i>Наноструктура, наночастинки, тонкі плівки, консолідовані наноматеріали, розмірний ефект у властивостях наноматеріалів</i>
<b>Пререквізити</b>	Вивчення дисципліни базується на таких курсах класичного університету (рівень бакалавру) 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. Підготовка за даним предметом передуює отриманню знань за дисципліною «Основи Нанотехнологій» у весняному семестрі.
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Презентація, лекції, дискусія
<b>Необхідне обладнання</b>	Мультимедійне обладнання

## 2. План викладання дисципліни

Тема, план	Кількість годин		
	усього	у тому числі	
		аудиторні	Само- стійна робота
<b>Лекція 1</b> Введення в матеріалознавство наноструктур: історія, основні парадигми і визначення; 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.	4	2	2
<b>Лекція 2 Розмірні ефекти в наноматеріалах.</b> Розмірний ефект в частинках, плівках, полікристалах. Розмірна залежність фізичних властивостей матеріалів; 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. Наноферроіки – ферромагнетики, сегнетоелектрики, ферроеластики – єдність відгуку на поля.	4	2	2
<b>Лекція 3</b> Розмірний ефект в частинках, плівках, полікристалах. Розмірна залежність кінетичних і механічних властивостей матеріалів; . Основні поняття кінетики дифузії в наноструктурах: критична довжина вільного пробігу дуфузанту. Теплопровідність наноматеріалів, критична	4	2	2

довжина пробігу фононів. Розмірні залежності модуля пружності, твердості, міцності та тріщиностійкості.			
<b>Практичне заняття 1</b>	2	2	
<b>Лекція 4</b> Вуглецеві наноматеріали: графени, фулерени, нанотрубки, нанокластери: технологія отримання, структура, властивості. 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.	6	2	4
<b>Практичне заняття 2</b>	2	2	
<b>Лекція 5</b> Основи методів отримання нанодисперсних структур: фізичні методи; Фізико-хімічні і фізико-механічні основи одержання нанодисперсних порошків різноманітних матеріалів. Основні методи одержання нанодисперсних порошків. Класифікація методів одержання наночастинок. Методи характеристики наночастинок. Основні елементи порошкової технології. Отримання наночастинок методами випаровування-конденсацією, електровибуху. Отримання квантових точок. Особливості механічних перетворень під дією інтенсивного подрібнення, аморфізація матеріалів.	4	2	2
<b>Лекція 6</b> Основи методів отримання нанодисперсних частинок і порошків: хімічні методи; 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; 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.	6	2	4
<b>Практичне заняття 3</b>	2	2	
<b>Лекція 7</b> Основи методів отримання нанодисперсних структур: комбіновані і гібридні методи; Механохімічні перетворення під впливом інтенсивних деформацій. Фізико-хімічні основи одержання нанодисперсних порошків різноманітних матеріалів інтенсивним диспергуванням та методами механохімічного	4	2	2

<p>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.</p>			
<p><b>Лекція 8.</b> Консолідовані наноматеріали за Гляйтером і Скороходом: Класифікація методів, Теорія консолідації наночастинок; 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.</p> <p>Практика отримання консолідованих наноматеріалів під тиском; 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.</p> <p><b>Лекція 9</b> 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 пробою.</p>	6	2	4
<p><b>Лекція 10</b> Нанокompозити: технології їх отримання, особливості їх структури та властивостей (2год); Класифікація нанокompозитів консолідованих з наноструктур різної морфології (по Гляйтеру), а також по типу матриці. Чому потрібні нанокompозити? Отримання нанорозмірного зерна. Стабілізація наноструктур. Досягнення корисної комбінації властивостей вихідних компонентів. Композити з металевої та керамічної матрицею. Класифікація Нііхари. Властивості нанокompозитів. Запобігання Оствальдову зростанню, вибір кількості компонентів та способу розміщення їх в матриці. Кінетика росту зерен в двухфазному нанокompозиті. Зміцнення композитів нановолокнами, та</p>	4	2	2

нанорубками. Нова парадигма нанокераміки: кераміка з полімерів.			
<b>Лекція 11</b> Наноккомпозити з полімерною матрицею (2год); Полімерні наноккомпозити – 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 сополімеризація на поверхні наночастинок. Приготування наноккомпозитів через розчини та розплави. Міцелярні структури: міцели та везикули. Формування полімерних наноккомпозитів. Термостабільність наноккомпозитів. Мікрокапсулювання. Явище інтеркалювання в полімерних наноккомпозитів..	4	2	2
<b>Лекція 12 Тонкі плівки</b> Тонкі плівки: фізичні технології їх отримання, структура, властивості; Класифікація наноккомпозитів консолідованих 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.	6	2	4
<b>Практичне заняття 4</b>	2	2	
<b>Всього за модулем</b>	60	30	30

### 3. Контроль знань

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

#### 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
Fx	35–59	Незадовільно з можливістю повторного складання
F	1–34	Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням курсу

#### 4. Список базової літератури

- 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)

*Додаткові джерела, що рекомендуються для самостійного навчання.*

- Нанохімія, наносистеми, наноматеріали / С.В. Волков, Є.П. Ковальчук, В.М. Огієнко, О.В. Решетняк. – Київ: Наукова думка, 2008. – 424 с.
- О. А. Kovalenko, О. 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, т. 21, № 2, сс. 413–426
- О.В. Zgalat-Lozynskyu, A.V. Ragulya Theory and technology of sintering, thermal and thermochemical treatment microwave sintering of chessboard-structured tin-si<sub>3</sub>n<sub>4</sub> 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.