

Форма № Н - 3.04

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені ІВАНА
ФРАНКА**

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Декан хімічного факультету

_____ Г.С. Дмитрів

“ _____ ” _____ 2022 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Синтез і фізико-хімія наноструктурованих матеріалів

галузь знань: 10 Природничі науки

спеціальність: 102 Хімія

факультет: хімічний

Львів – 2022 рік

Робоча програма навчальної дисципліни **“Синтез та фізикохімія наноструктурованих матеріалів”** для студентів освітнього ступеня “магістр” за спеціальністю 102 Хімія, 2022. – 14 с.

Розробник програми:

кандидат хімічних наук, доцент кафедри фізичної та колоїдної хімії
Бойчишин Л. М.

Робочу програму затверджено на засіданні кафедри фізичної та колоїдної хімії

протокол № 1 від 31 серпня 2022 р.

Завідувач кафедри фізичної та колоїдної хімії

_____ О.В. Решетняк

31 серпня 2022 року

Схвалено методичною комісією хімічного факультету

Протокол № 1 від 31 серпня 2022 року

Голова методичної комісії хімічного факультету

_____ М.Д. Обушак

31 серпня 2022 року

Схвалено Вченою радою хімічного факультету

Протокол № 1 від 31 серпня 2022 року

Голова Вченої ради хімічного факультету

_____ Г.С. Дмитрів

31 серпня 2022 року

Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів: денна форма – 4 заочна форма - 2	Галузь знань <u>10 Природничі науки</u>	Нормативна	
Модулів – 2	Спеціальність: <u>102 Хімія</u>	Рік підготовки	
Змістових модулів – 2		5-й	5-й
Загальна кількість годин денна форма – 120 заочна форма - 60		Семестр	
		2-й	2-й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3 самостійної роботи студента – 4,5	Освітній рівень: <u>магістр</u>	Лекції	
		16 год.	8 год.
		Практичні, семінарські	
		32 год.	12 год.
		Лабораторні	
		0 год.	0 год.
		Самостійна робота	
		72 год.	40 год.
		Індивідуальні завдання:	
		0 год.	
Вид контролю:			
<u>екзамен</u>	<u>екзамен</u>		

Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить (%):

- для денної форми навчання – 67
- для заочної форми навчання – 50

1. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни «Синтез та фізикохімія наноструктурованих матеріалів» є вивчення систем класифікації, методів синтезу, дослідження та галузей застосування наноструктурованих матеріалів, а також впливу розмірного ефекту на їх фізико-хімічні властивості.

Завданням дисципліни «Синтез та фізикохімія наноструктурованих матеріалів» є навчити студентів формулювати особливості наноструктур; аналізувати структури неорганічних, полімерних і біологічних наноматеріалів, вуглецевих наноматеріалів; описати властивості і технології одержання наноматеріалів; робити аналіз застосування наноматеріалів, а також досліджень структурних характеристик і властивостей вуглецевих матеріалів. Володіти основними технологічними прийомами отримання наноструктурних матеріалів; знати перспективи використання наноматеріалів в сучасній науці і виробництві.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен набути загальні компетентності (ЗК), спеціальні (фахові, предметні) компетентності (СК), відповідні до програмних результатів навчання (ПРН).

Внаслідок вивчення нормативної дисципліни студент повинен:

Знати: базові терміни та поняття; корпускулярно-хвильовий дуалізм нанооб'єктів. Принцип невизначеності. Квантово-розмірні ефекти. Зв'язок розміру наночастинок з фізико-хімічними властивостями наноматеріалів. Методи синтезу наноструктурованих систем. Методи дослідження наноструктурованих систем. Основні класи та галузі застосування наноструктурованих систем.

Вміти: застосовувати базові терміни та поняття; пояснювати принцип невизначеності. Описувати квантово-розмірні ефекти, пояснювати зв'язок фізико-хімічних властивостей наноматеріалів з їх розміром, застосовувати методи синтезу до одержання наноструктурованих систем, застосовувати методи дослідження до різних класів наноструктурованих систем, характеризувати основні класи та прогнозувати галузі застосування наноструктурованих систем.

ЗК1. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності

ЗК 2. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК 3. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК 4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК 5. Здатність до адаптації та дії в новій ситуації.

ЗК 6. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК 7. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.

СК 4. Здатність інтерпретувати, об'єктивно оцінювати і презентувати результати свого дослідження.

СК 6. Здатність здобувати нові знання в галузі хімії та інтегрувати їх із уже наявними.

СК 7. Здатність дотримуватися етичних стандартів досліджень і професійної діяльності в галузі хімії (академічна доброчесність, ризики для людей і довкілля тощо).

ПРН 1. Знати та розуміти наукові концепції та сучасні теорії хімії, а також фундаментальні основи суміжних наук.

ПРН 3. Застосовувати отримані знання і розуміння для вирішення нових якісних та кількісних задач хімії.

ПРН 6. Знати методологію організації наукового дослідження.

ПРН 8. Вміти ясно і однозначно донести результати власного дослідження до фахової аудиторії та/або нефакхівців.

ПРН 9. Збирати, оцінювати та аналізувати дані, необхідні для розв'язання складних задач хімії, використовуючи необхідні методи та інструменти роботи з даними.

ПРН 10. Планувати, організовувати та здійснювати експериментальні дослідження з хімії з використанням сучасного обладнання, грамотно обробляти їх результати та робити обґрунтовані висновки.

2. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Характеристика, класифікація, типи структур і методи синтезу наноматеріалів

Тема 1: Завдання та предмет курсу «Синтез і фізико-хімія наноструктурованих матеріалів». Основні положення та визначення. Історія розвитку хімії наноструктурованих матеріалів. Загальні відомості про наночастинки. Класифікація наноматеріалів.

Тема 2: Нанорозмірні ефекти в хімії наносистем. Квантування енергії електронів у низькорозмірних системах. Тунельний та балістичний ефект.

Тема 3: Основні типи нанооб'єктів і наносистеми на їх основі. Фулерени. Нанотрубки. Неорганічні та органічні наноматеріали. Алмазоїди. Газові гідрати. Кластери в газах.

Тема 4: Фізико-хімічні методи синтезу наночастинок. Синтез методом хімічного відновлення. Фізичні методи відновлення. Осадження з колоїдних розчинів. Синтез за участі високої енергії та використанням вибуху. Реакції у міцелярних і макромолекулярних порожнинах. Механосинтез. Компактування порошків. Осадження на підкладку. Епітаксія. CVD- і PVD-процеси. Інтенсивна пластична деформація. Літографія.

Змістовий модуль II Методи дослідження, властивості та застосування наноматеріалів

Тема 5: Методи дослідження наночастинок і наноматеріалів. Електронна мікроскопія. Зондова мікроскопія. Дифракційні, спектральні та інші методи дослідження

Тема 6: Властивості нанорозмірних частинок і матеріалів. Розмір і форма наночастинок. Фізико-хімічні властивості нанорозмірних частинок та

наноматеріалів. Здатність наночастинок до самоорганізації. Супрамолекулярна хімія.

Тема 7: Стабілізація наночастинок та наноматеріалів. Хімічна, низькотемпературна стабілізація. Стабілізація в полімерних, металічних, керамічних матрицях.

Тема 8: Практичне використання наноматеріалів. Медицина і нанотехнології. Нанотехнології в автомобільній індустрії. Нанотехнології в будівництві. Нанотехнології в електроніці. Нанотехнології в сільському господарстві та охороні навколишнього середовища. Техніка безпеки при роботі з наноматеріалами.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с.р.		л	п	лаб.	інд.	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Змістовий модуль 1. Характеристика, класифікація, типи структур і методи синтезу наноматеріалів												
<i>Тема 1. Завдання та предмет курсу «Синтез і фізикохімія наноструктурованих матеріалів»</i>	15	2	4	-	-	9	7,5	1	1,5			5
<i>Тема 2. Нанорозмірні ефекти в хімії наносистем</i>	15	2	4			9	7,5	1	1,5			5
<i>Тема 3: Основні типи наноб'єктів і наносистеми на їх основі</i>	15	2	4			9	7,5	1	1,5			5
<i>Тема 4: Синтез наночастинок</i>	15	2	4			9	7,5	1	1,5			5
Разом за модулем 1	60	8	16			36	30	4	6			20
Змістовий модуль 2. Методи дослідження, властивості та застосування наноматеріалів												
<i>Тема 5: Методи дослідження наночастинок і наноматеріалів</i>	15	2	4	-	-	9	7,5	1	1,5			5
<i>Тема 6: Властивості нанорозмірних частинок і матеріалів</i>	15	2	4	-	-	9	7,5	1	1,5			5
<i>Тема 7: Стабілізація наночастинок та наноматеріалів</i>	15	2	4	-	-	9	7,5	1	1,5			5
<i>Тема 8: Практичне використання наноматеріалів</i>	15	2	4	-	-	9	7,5	1	1,5			5
Разом за модулем 2	60	8	16			36	30	4	6			20
Усього годин	120	16	32			72	60	8	12			40

4. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Завдання та предмет курсу «Синтез і фізико-хімія наноструктурованих матеріалів». Основні положення та визначення. Історія розвитку хімії наноструктурованих матеріалів. Загальні відомості про наночастинки. Класифікація наноматеріалів.	4
2	Нанорозмірні ефекти в хімії наносистем. Квантування енергії електронів у низькорозмірних системах. Тунельний та балістичний ефект.	4
3	Основні типи нанооб'єктів і наносистеми на їх основі. Фулерени. Нанотрубки. Неорганічні та органічні наноматеріали. Алмазоїди. Газові гідрати. Кластери в газах.	4
4	Синтез наночастинок і наноматеріалів. Синтез методом хімічного відновлення. Фізичні методи відновлення. Осадження з колоїдних розчинів. Синтез за участі високої енергії та використанням вибуху. Реакції у міцелярних і макромолекулярних порожнинах. Механосинтез. Компактування порошків. Осадження на підкладку. Епітаксія. CVD- і PVD-процеси. Інтенсивна пластична деформація. Літографія.	4
5	Методи дослідження наночастинок і наноматеріалів. Електронна мікроскопія. Зондова мікроскопія. Дифракційні, спектральні та інші методи дослідження.	4
6	Властивості нанорозмірних частинок і матеріалів. Розмір і форма наночастинок. Фізико-хімічні властивості нанорозмірних частинок та наноматеріалів. Здатність наночастинок до самоорганізації. Супрамолекулярна хімія.	4
7	Стабілізація наночастинок та наноматеріалів. Хімічна, низькотемпературна стабілізація. Стабілізація в полімерних, металічних, керамічних матрицях.	4
8	Практичне використання наноматеріалів. Медицина і нанотехнології. Нанотехнології в автомобільній індустрії. Нанотехнології в будівництві. Нанотехнології в електроніці. Нанотехнології в сільському господарстві та охороні навколишнього середовища. Техніка безпеки при роботі з наноматеріалами.	4
	Разом	32

5. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Класифікація наносистем. Фізична хімія наносистем. Розмірність нанооб'єктів. Фрактальність. Класична і квантово-механічна теорія наносистем. Залежність фізико-хімічних властивостей від розмірів нанооб'єктів. Неорганічні, органічні і органомінеральні речовини. Наносистеми, шаруваті, фібрилярні та наночастинкові. Полімерні нанокомпозити. Синергізм фізико-хімічних властивостей. Вплив розмірів наночастинок на оптичні, магнітні, електрохімічні, механічні та каталітичні властивості.	9
2	Фізико-хімічні властивості наносистем. Фізико-хімічні закономірності утворення нанокластерів. Вплив нанорозмірного ефекту на енергію Гібса, на величину хімічного потенціалу, на розчинність твердого тіла, на температуру фазових переходів, на теплоємність, на електродний потенціал, параметри кристалічної ґратки.	9
3	Об'єкти та методи колоїдної хімії в нанохімії Утворення ультрадисперсних системи, будова і форма ультра дисперсних систем. Самоорганізовані колоїдні структури.	9
4	Вуглецеві наноматеріали та наносистеми на їх основі. Структура та електрофізичні властивості структурно різних форм вуглецю та інтеркальованих сполук на їх основі. Дослідження спін –залежних транспортних, магнітних властивостей низько розмірних вуглецевих наноструктур (одно – та багато стінні нанотрубки, 2D графіти), модифікованих (або інтеркальованих) перехідними металами. Розробка та дослідження новітніх матеріалів включаючи полімерні нанокомпозити на основі структурно різних форм нановуглецю.	9
5	Наносистеми на основі електропровідних полімерів. Загальна характеристика полімерів з власною електронною провідністю. Допування, допанти. Хімічний і електрохімічний методи синтезу. Поліанілін як полімерна матриця у нанокомпозиті. Окиснювальна конденсація пероксодисульфатом, гідрогенпероксидом, біхроматом. Електрохімічна поліконденсація аніліну. Вплив режимів електролізу на морфологію і структуру полімеризат.	9
6	Гібридні полімер – неорганічні матеріали Одержання гібридних нанокомпозитів золь-гель методом. Одержання темплатних синтетичних нанобіокомпозитів	9

	золь-гель методом. Інтеркаляція полімерів в пористі та шаруваті наноструктури. Наноккомпозити включення «халькогеніди металів – полімер». Металополімерні плівки Ленгмюра – Блоджет – самоорганізовані гібридні наноккомпозити. Основні галузі застосування гібридних наноккомпозитів.	
7	Металовмісні полімерні наноккомпозити з контрольованою молекулярною архітектурою. Формування наноккомпозитів в розчинах полімерів. Молекулярна архітектура наночастинок в блок-співполімерах. Гетерогенні композиційні наноматеріали. Наноккомпозити, які отримують на стадії полімеризації (поліконденсації). Архітектура наноккомпозитів на основі дендритних полімерів. Самоорганізовані гібридні наноккомпозити — плівки Ленгмюра-Блоджет. Архітектурні композиції в полімер -неорганічних наноматеріалах.	9
8	Наноелектрохімія. Термодинамічний опис інтерфазу. Аналіз подвійного електричного шару. Дифузія і масо перенесення. Перенесення заряджених часток: електронів та іонів. Нуклеація і ріст. Проміжні стани в процесах електроосадження. Осадження металів, металічних стопів, полімерних та співполімерних шарів. Полімеризаційне нанесення шарів електропровідних полімерів. Електрокаталітичне виділення водню на наноструктурованих електродах.	9
	Разом	72

6. Індивідуальні завдання.

Написання рефератів за обраними темами.

-Класифікація нанодисперсних систем.

Загальне поняття про наноматеріали та їх класифікація за хімічним складом та за агрегатним станом. Розмірні ефекти в наносистемах. Поняття про фрактальну розмірність. Наночастинки, нанонитки та нанотрубки, тонкі плівки, поруваті матеріали – як приклад наносистем різної розмірності.

-Методи одержання наноматеріалів.

Загальні підходи до одержання наноматеріалів: диспергаційні методи, конденсаційні методи, метод часткового розчинення. Технологічні прийоми та обладнання, що використовуються при одержання наноматеріалів. Методи виділення та очистки наноматеріалів.

-Наноструктуровані об'єкти на межі розділу фаз.

Емульсії, колоїдні розчини та гелі. Аерозолі, аерогелі. Плівки Ленгмюра-Блоджет. Моношари, що самозбираються. Розчини полімерів. Рідкі кристали, фазові переходи в них та застосування.

-Розчини поверхнево-активних речовин, та структури, що утворюються в них: міцели, везикули, ламелярні структури. Чинники, що впливають на структуру організованих розчинів, фазові переходи в них та їх застосування.

-Металічні наночастинки та наноструктури.

Методи одержання та стабілізації металічних наночастинок. Наночастинки срібла, золота, паладію, платини, перехідних металів. Нанопроводи. Тонкі плівки металів. Поруваті метали.

-Особливості фізико-хімічних властивостей та застосування металічних наноструктур. Плазмонний ефект. Методи поверхневого плазмонного резонансу та поверхнево-підсиленої Раман спектроскопії. Сенсори та каталізатори на основі наночастинок металів. Порошкова металургія.

-Різноманіття алотропних форм вуглецю – основа для створення вуглецевих наноматеріалів. Фулерени та фулерити. Вуглецеві нанотрубки. Методи одержання, виділення, властивості, структурні та фізико-хімічні особливості, методи модифікування, застосування.

-Матеріали на основі графену, аморфного вуглецю та нанодисперсного алмазу. Матеріали на основі «аморфного вуглецю». Одержання, фізико-хімічні властивості Матеріали на основі нанодисперсно алмазу. Методи одержання, структурні та фізико-хімічні особливості, методи керування властивостями та застосування вищеназваних матеріалів.

-Одержання та властивості кремнієвих наноструктур.

Кремній – основа сучасної електроніки. Загальний огляд хімічних властивостей, методів одержання, властивостей та чинників направлено впливу на них (очистка, кристалізація, легування). Основи мікроелектронної технології (короткий огляд з точки зору хіміка). Дефекти та хімія поверхні кристалічного кремнію. Пасивація, селективне травлення та функціоналізація поверхні кремнію. «Аморфний кремній» та інші подібні матеріали.

-Поруватий кремній (ПК). Історія відкриття, методи одержання, залежність властивостей від умов одержання. Поверхневі групи ПК та їх хімічні властивості. Хімічна функціоналізація ПК. Наночастинки кремнію. Кремнієві нанонитки. Методи одержання. Особливості хімічного модифікування. Застосування.

-Матеріали на основі кремнієвих наноструктур та їх застосування.

Застосування поруватого кремнію. Ефект квантового обмеження. Фото- та електро-люмінесценція. Світлопоглинаючі покриття для сонячних елементів. Оптичні та електрохімічні сенсори. Іонізаційні платформи для лазерної десорбційної мас-спектрометрії.

- Наноматеріали на основі карбїду кремнію, германію, напівпровідників III-V. Карбїд кремнію. Германій. Особливості хімічної поведінки SiC та Ge. Одержання поруватих модифікацій SiC та Ge та їх наночастинок. Застосування наноструктурованих SiC та Ge.

-Напівпровідники III-V: BN, GaAs, InP. Особливості їх хімічної поведінки та фізикохімічних властивостей. Одержання та застосування наноструктурованих напівпровідників III-V.

-Наноматеріали на основі напівпровідників II-VI

Напівпровідники II-VI: ZnS, ZnSe, CdS, CdSe, CdTe. Особливості їх хімічної поведінки та фізикохімічних властивостей. Одержання та застосування наноструктурованих напівпровідників II-VI. Квантові точки.

-Наноструктуровані матеріали на основі аморфного SiO₂

Діоксид кремнію. Загальний огляд хімічних властивостей, поліморфні модифікації. Наноструктурований SiO₂: аеросили, силікагелі, силохроми, порувате скло. Методи одержання та керування властивостями (основи золь-гель технології). Поліорганосилоксани, полігідридсилоксани. Властивості, одержання, застосування (ентеросгель).

-Особливості хімічної поведінки та застосування кремнеземних матеріалів.

Поверхневі групи SiO₂ та їх термічна поведінка. Реакції на поверхні SiO₂ та методи хімічної функціоналізації. Силанізування, збирання на поверхні, молекулярне нашарування. Топологія закріплених шарів. Застосування модифікованих кремнеземів: хроматографічні носії, сорбенти, каталізатори, активні елементи сенсорів. Наночастинки SiO₂: особливості хімічної поведінки та застосування.

-Оксидні наноматеріали впорядкованої будови (цеоліти)

Класифікація цеолітів. Структура, властивості, одержання. Активні центри на поверхні цеолітів та методи їх визначення. Застосування цеолітів: молекулярно-ситовий ефект, каталіз. Мезопоруваті цеоліти. Підхід темплатного синтезу для їх одержання.

-Матеріали на основі оксидів металів.

Матеріали на основі Al₂O₃: одержання, властивості застосування. Магнітні наночастинки Fe₃O₄. Наночастинки TiO₂ та їх фотокаталітичні властивості.

- Матеріали на основі оксидів металів

Матеріали на основі ZrO₂, вплив поліморфної модифікації на властивості. Сульфатований оксид цирконію SnO₂ – напівпровідниковий оксид, основа сенсорів.

- Композити метал - оксид, метал - полімер та оксид – полімер.

Композити полімер – неорганічний оксид. Застосування в каталізі та для створення сенсорів. Композити метал – полімер. Композити метал-оксид (ситалли) та кераміки.

- **Методи дослідження структури наноматеріалів.** Растрова та просвічуюча електрона мікроскопія високої роздільної здатності. Скануюча тунельна та атомна силова мікроскопія. ІЧ- та Раманівська спектроскопія .

- Методи дослідження структури наноматеріалів

Фотоелектронна та рентгенівська спектроскопія. Методи X-структурного, X-фазового та елементного аналізу. Метод аналізу функції розподілу атомів.

- Методи дослідження структури наноматеріалів.

Електронний парамагнітний резонанс. Ядерний магнітний резонанс, EXFANS-спектроскопія. Масс-спектрометрія. Фото та термолюмінесценція. Методи визначення розмірів наночастинок.

7. Методи навчання

Використовуються такі методи навчання:

- а) словесні – лекція, пояснення, бесіда, інструктаж (вступний та поточний) під час виконання практичних робіт;
- б) наочні – ілюстрування лекційного матеріалу таблицями, схемами, графіками та демонстрація хімічних дослідів на практичних заняттях;
- в) практичні – розв’язування задач для якнайповнішого засвоєння і закріплення теоретичного матеріалу.

8. Методи контролю

Рейтингова система передбачає оцінювання роботи студента в балах. Максимальна кількість балів за курс “Синтез і фізико-хімія наноструктурованих матеріалів” без іспиту – 50. Студент, який отримав позитивні оцінки по всіх видах контролю та одержав 26 і більше балів, допускається до складання іспиту. Максимальна кількість балів при оцінюванні знань студента на іспиті становить 50 балів.

9. Розподіл балів, які отримують студенти

Залік:

Поточне тестування та самостійна робота								Індивідуальна робота	Колоквіум		Сума
Змістовий модуль 1				Змістовий модуль 2				Реферат	Кл 1	Кл 2	
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	10	4	4	50
4	4	4	4	4	4	4	4				

T1, T2 ... T8 – теми лекцій.

Екзамен:

Поточне тестування та самостійна робота								Індивідуальна робота	Колоквіум		Підсумковий тест (екзамен)	Сума
Змістовий модуль 1				Змістовий модуль 2				Реферат	Кл 1	Кл 2		
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	10	4	4	50	50
4	4	4	4	4	4	4	4					

Шкала оцінювання: національна та ЄКТС

Оцінка ЄКТС	Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи) практики	для заліку
A	90 – 100	відмінно	зараховано
B	81-89	добре	
C	71-80		
D	61-70		
E	51-60	задовільно	
FX	21-50	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
F	0-20	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

10. Методичне забезпечення

1. Синтез наночастинок срібла та визначення їхнього розміру і полідисперсності за спектрами поверхневого плазмонного резонансу / Навчально-методичний посібник з дисципліни вільного вибору «Наноструктури» [для студентів V курсу хімічного факультету, освітньо-кваліфікаційний рівень «Магістр»] / А. Р. Киця, Л. І. Базиляк, Л. М. Бойчишин, Ю. М. Гринда, О. В. Решетняк; Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України; Львів. нац. ун-т ім. Ів. Франка. – Львів: Малий видавничий центр хімічного та фізичного факультетів ЛНУ імені Івана Франка, 2014. – 70 с.
2. Електронний конспект лекцій “Синтез і фізико-хімія наноструктурованих матеріалів”.

11. Рекомендована література**Основна:**

1. Волков С.В., Ковальчук Є.П., Огенко В.М. Решетняк О.В. Нанохімія, нанооб'єкти та наносистеми. - К.: Наукова думка, 2008. -424 с.
2. Назаров О.М., Нищенко М.М. Наноструктури та нанотехнології: Навчальний посібник.- К.: НАУ, 2010. - 256с.
3. Нанохімія: підручник для студентів хімічних факультетів педагогічних університетів / Уклад.: Т.І. Хорошилова, В.О. Хромишев, С.В. Рябов, О.О.

- Хромишева. – Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2014. – 206 с.
4. Заячук Д. М. Нанотехнології і наноструктури: Навч. посібник. – Львів: В-во «Львівська політехніка», 2009. – 580 с.
 5. Литвин В.А. Наноструктурні системи і матеріали: збірник задач – Черкаси: Вид. від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2014. – 152 с.
 6. Литвин В.А. Наноструктурні системи і матеріали. Навчально-методичний посібник для студентів спеціальності 7.04010101 – Хімія / В. А. Литвин – Черкаси: ЧНУ, 2015. – 86 с.
 7. Синтез наночастинок срібла та визначення їхнього розміру і полідисперсності за спектрами поверхневого плазмонного резонансу / Навчально-методичний посібник з дисципліни вільного вибору «Наноструктури» [для студентів V курсу хімічного факультету, освітньо-кваліфікаційний рівень «Магістр»] / А. Р. Киця, Л. І. Базиляк, Л. М. Бойчишин, Ю. М. Гринда, О. В. Решетняк ; Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України ; Львів. нац. ун-т ім. Ів. Франка. – Львів: Малий видавничий центр хімічного та фізичного факультетів ЛНУ імені Івана Франка, 2014. – 70 с.

Додаткова:

1. Ковальчук Є.П. Решетняк О.В. Фізична хімія. –Львів.: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. –800с.
2. С.І. Мудрий. Фізика кластерів і наносистем: навч. посіб. – Л. Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2009.- 443 с.
3. Оленич І.Б. Фізичні основи нанотехнологій: навч. посібник / І.Б. Оленич. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2014. – 232 с.
4. Л.М. Бойчишин. Морфологія, структура та властивості аморфних сплавів легованих РЗМ: монографія / Л.М. Бойчишин, О.М. Герцик, М.О. Ковбуз. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2019. – 242 с.
5. Lidiya M. Boichyshyn, Oksana M. Hertsyk, Myroslava O. Kovbuz Thermal modification of amorphous metal alloys: nanostructuring and properties. – Mississauga, Ontario: Library and Archives Canada Cataloguing in Publication, Nova Printing Inc., 2019. -138 p.
6. Поплавко Ю.М. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка: навч. посіб. / Ю.М. Поплавко, О.В. Борисов, Ю. І. Якименко. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 300 с.
7. Епоксидні наноккомпозити : монографія / А. В. Букетов, О. О. Сапронов, В. Л. Алексенко. – Херсон : ХДМА, 2015. – 184 с.
8. Тузяк О. Я., Курляк В. Ю. Основи електронної та зондової мікроскопії: Навч. посібник. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. – 296 с.
9. Булавін Л.А., Кармазіна Т.В., Клепко В.В., Слісенко В.І. Нейтронна спектроскопія конденсованих середовищ –К.: Академперіодика, 2005. – 640с.

10. Балицький О., Миколайчук О. Дифракція електронів для дослідження структури матеріалів – Л. Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2008. – 63с.
 11. Шпак А.П., Куницький Ю.А., Карбовський В.Л. Кластерные и наноструктурные материалы. –Киев.: Академперіодика, 2001. Том 1. –588с.
 12. Шпак А.П., Куницький Ю.А., Коротченко О.О., Смик С.Ю. Квантові низькорозмірні системи. К.: Академперіодика, 2003. – 310с.
 13. Шпак А.П., Черемской П.Г., Куницький Ю.А., Соболев О.В. Кластерные и наноструктурные материалы. Т.3. Пористость как особое состояние структуры в твердотельных наноматериалах. –Киев.: Академперіодика, 2005. – 516с.
- Шпак А.П., Куницький Ю.А., Захаренко М.І., Волощенко А.С. Магнетизм аморфних та нанокристалічних систем. – К.: Академперіодика, 2003. – 207с.