



ФІЗИКО-ХІМІЧНА КІНЕТИКА В НАНОСТРУКТУРНИХ МАТЕРІАЛАХ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна(денна)/змішана/дистанційна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредитів ECTS/ 120 годин: лекції - 28 годин, лабораторні заняття 18 год; СРС - 75</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік/ Модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	<i>htth: // rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>старший викладач Руденький Сергій Олексійович, E-mail: ruserg@ukr.net</i> Лабораторні: <i>старший викладач Руденький Сергій Олексійович, E-mail: ruserg@ukr.net</i>
Розміщення курсу	<i>Googleclassroom</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Вивчення навчальної дисципліни надає здобувачу можливість ознайомитися з сучасним рівнем наукових досліджень в області наноматеріалів та нанотехнологій, поглибити професійну підготовку в межах спеціальності та освітньої програми, здобути додаткові результати навчання. Цю дисципліну варто вчити для того, щоб стати конкурентоспроможним фахівцем сучасного рівня. Отримання матеріалів/покривів завтрашнього дня з підвищеними фізико-хімічними та механічними властивостями для екстремальних умов експлуатації – це створення та розвиток наноматеріалів та нанотехнологій. Для створення нових наноматеріалів необхідно володіти знаннями основ методів та технологій їх отримання. Отримані знання стануть в пригоді як у дослідницької діяльності, так й у повсякденному житті.

Предмет дисципліни «Фізико-хімічна кінетика в наноструктурних матеріалах» включає основні поняття та визначення нанотехнологій, як ключового напрямку розвитку технологій XXI століття, інструментарій нанотехнологій, інформацію стосовно основ нанотехнологій та методів створення низько розмірних матеріалів,

закономірності поведінки/властивостей наноматеріалів з врахуванням особливостей структури, розмірних ефектів та технології отримання.

Метою викладання навчальної дисципліни є формування у студентів таких компетентностей як:

- здатність до аналізу методів та технологій для створення наноматеріалів та виробів з заданими фізико-хімічними, механічними та експлуатаційними властивостями;
- здатність аналізувати вплив нанорозмірності на фізико-хімічні та механічні властивості порошкових і композиційних матеріалів та покриттів з них при їх отриманні різними методами, в т.ч. методами порошкової металургії, та прогнозувати їх властивості в залежності від складу, технології отримання, структури, розміру елементів структури для створення нових матеріалів з наперед заданими функціональними властивостями для певних умов експлуатації;
- здатність аналізувати роль розмірних ефектів в наноматеріалах та прогнозувати фізико-хімічні та механічні властивості наноматеріалів в залежності від розміру елементів структури, їх розподілу за розмірами для створення нових матеріалів з наперед заданими функціональними властивостями;

Після вивчення дисципліни студенти мають продемонструвати такі **результати навчання**:

ЗНАННЯ:

- термінології (основні поняття та визначення), що використовується у нанотехнологіях та при опису структури та властивостей наноматеріалів;
- основних специфічних і класифікаційних ознак наноматеріалів;
- впливу нанорозмірності на фізико-хімічні, механічні та експлуатаційні властивості наноматеріалів;
- особливостей структурного стану та ролі розмірних ефектів в наноматеріалах;
- основних методів та технологій створення наноматеріалів,
- особливостей методів та технологічних варіантів створення наноматеріалів, покриттів та наноструктурного стану;
- сучасних методів діагностики наноматеріалів, нанооб'єктів;
- сучасних та перспективних напрямків застосування наноматеріалів та нанотехнологій у різних галузях;

УМІННЯ:

- аналізувати та прогнозувати вплив розміру елементів структури та їх розподілу за розмірами на властивості наноматеріалів з метою їх керованої зміни та створення нових матеріалів;
- прогнозувати фізико-хімічні, механічні та експлуатаційні властивості наноматеріалів в залежності від складу, структури, розміру елементів структури та їх розподілу за розмірами для створення нових матеріалів з наперед заданими функціональними властивостями;
- обирати сучасні методи та технологічні варіанти отримання наноматеріалів для заданих умов експлуатації з урахуванням вимог надійності, економічності та екологічних наслідків їх застосування, а також сфер застосування.

- використовувати теоретичні знання для аналізу та пояснення фізичних і хімічних процесів, які відбуваються під час утворення, обробці та функціонування наноматеріалів;
- обирати сучасні методи дослідження структури, хімічного складу, фізико-хімічних та властивостей наноматеріалів (металевих, композиційних, керамічних, полімерних тощо) та проводити експериментальні дослідження структури і властивостей наносистем і аналізувати отримані результати;
- визначати принципи формоутворення наноматеріалів конструкційного та інструментального призначення за допомогою нанотехнологій,
- аналізувати можливості нанотехнологій для створення наноматеріалів з необхідним комплексом властивостей.

досвід:

- уявляти особливості впливу нанорозмірності на фізико-хімічні та механічні властивості порошкових і композиційних матеріалів і покриттів з них при їх отриманні різними методами, в т.ч. методами порошкової металургії.

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

Студентам лекційна надаються матеріали дисципліни в сьомому семестрі підготовки за освітньою програмою підготовки бакалаврів з матеріалознавства. Дисципліни, знання з яких необхідні для успішного засвоєння дисципліни «**Фізико-хімічна кінетика в наноструктурних матеріалах**»: фізика; хімія; фізична хімія; кристалографія, кристалохімія та мінералогія; фізика конденсованого стану; матеріалознавство. Знання, що студент отримує під час вивчення дисципліни «**Фізико-хімічна кінетика в наноструктурних матеріалах**», необхідні при підготовці за спеціальністю «Матеріалознавство», проведення науково-дослідних робіт, виконанні атестаційної роботи та забезпечують розширення інженерного кругозору в галузі матеріалознавства.

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліна – «Фізико-хімічна кінетика в наноструктурних матеріалах» містить один змістовний модуль: «Фізико-хімічна кінетика в наноструктурних матеріалах».

Розділ 1 Загальна характеристика наноструктурних систем

Тема 1.1 Вступ. Класифікація наноструктурних систем за топологічними ознаками.

Тема 1.2 Розмірні ефекти в наноструктурних системах.

Тема 1.3 Нанодисперсні системи. Основні параметри геометричної структури.

Розділ 2 Еволюція структури нанодисперсних систем при спіканні.

Тема 2.1 Рушійна сила та кінетичні коефіцієнти транспорту маси в дисперсних системах.

Тема 2.2 Початкові стадії спікання нанодисперсних систем. Коалесценція та коагуляція.

Тема 2.3 Кінетика спікання нанопорошків у твердій фазі.

Тема 2.4 Спікання нанодисперсних систем за участю рідкої фази.

Розділ 3 Вплив хімічних реакцій на процеси спікання нанодисперсних систем.

Тема 3.1 Реакції відновлення та окислення металів.

Тема 3.2 Спікання, що супроводжується хімічними реакціями в твердій фазі.

4. Навчальні матеріали та ресурси

4.1 Базова

1. Скороход В.В. Фізико-хімічна кінетика в наноструктурних системах [Текст] / В. В. Скороход, И.В Уварова., А.В. Рагуля. – Київ: Академперіодика, 2001. – 180 с.
2. Заячук Д. М. Нанотехнології і наноструктури / Д. М. Заячук. – Львів : Львівська політехніка, 2009. – 580 с.
3. Шпак А. П. Кластерные и наноструктурные материалы : в 2-х т. / Шпак А. П., Куницкий Ю. А., Карбовский В. Л. – Киев : Издательский дом «Академперіодика», 2001. – Том 1. – 588 с.
4. Шпак А. П. Кластерные и наноструктурные материалы : в 2-х т. / Шпак А. П., Куницкий Ю. А., Карбовский В. Л. – Киев : Издательский дом «Академперіодика», 2002. – Том 2. – 540 с.
5. Ткач О. П. Наноматеріали і нанотехнології в приладобудуванні : навч. посібн. / О. П. Ткач. – Суми : СумДУ, 2014. – 126 с.
6. Наноматериалы, нанопокрyтия, нанотехнологии : учебное пособие / Азаренков Н. А., Погребняк А. Д., Маликов Л. В., Турбин П. В. – Харьков : ХНУ им. В.Н. Каразина, 2009. – 209 с.

Перераховані книги є у вільному доступі в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського і можуть бути використані для отримання базових знань з дисципліни «Фізико-хімічна кінетика в наноструктурних матеріалах»

4.2 Допоміжна

7. Андриевский Р. А. Наноструктурные материалы / Р. А. Андриевский, А. В. Рагуля. – Москва : Академия, 2005. – 185 с
8. Рагуля А. В. Консолидированные наноструктурные материалы / Рагуля А. В., Скороход В. В. – Киев : Наукова думка, 2007. – 375 с.
9. Проценко І. Ю. Основи матеріалознавства наноелектроніки : навч. посібн. / І. Ю. Проценко, Н. І. Шумакова. – Суми : СумДУ, 2004. – 108 с.
10. Валиев Р. З. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией / Р. З. Валиев, А. И. Александров. – Москва : Логос, 2000. – 272 с.
11. Нанослойные композиционные материалы и покрытия / А. П. Шпак, В. П. Майборода, Ю. А. Куницкий, С. Л. Рево. – Киев : Академперіодика, 2004. – 163 с.

Перераховані книги в основному є у вільному доступі в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Рекомендується ознайомитись з змістом вказаних базових і додаткових джерел.

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Інформація по матеріалу дисципліни «Фізико-хімічна кінетика в наноструктурних матеріалах» (за розділами, темами) надається в основному лекційно і на лабораторних роботах, а також студенти більш глибоко вивчають матеріал дисципліни самостійно.

Зміст лекційних занять:

Заняття 1. Вступ. Класифікація наноструктурних систем за топологічними ознаками. (презентація), [1], [2], [3];

Заняття 2. Розмірні ефекти в наноструктурних системах. Зміна рівноважної температури фазових перетворень.

Розмірна залежність кінетичних властивостей. (презентація) [1], [2], [3];

Заняття 3. Розмірна залежність механічних властивостей. (презентація) [1], [4], [5]

Заняття 4. Розмірний ефект в діелектриках і магнетиках. (презентація) [1], [5], [6];

Заняття 5. Нанодисперсні системи. Основні параметри геометричної структури. Характеристики полідисперсності ансамблю частинок. Мезоструктура системи випадково пакованих монодисперсних частинок. (презентація) [1], [3], [6];

Заняття 6. Нанодисперсні системи. Параметри геометричної структури і площа поверхні дисперсної системи. Фракталі і фрактальні структури в нанодисперсних системах. (презентація) [1], [3];

Заняття 7. Рушійна сила та кінетичні коефіцієнти транспорту маси в дисперсних системах. Умови рівноваги на межі двох фаз, поділених викривленою поверхнею. Кінетичні коефіцієнти масопереносу під дією градієнта хімічного потенціалу. (презентація) [1], [6], [7];

Заняття 8. Початкові стадії спікання нанодисперсних систем. Коалесценція та коагуляція. Кінетика зменшення площі поверхні при зростанні міжчастинкових контактів. Кінетика дифузійної коалесценції в нанодисперсних структурах. Коагуляція в нанодисперсних середовищах. (презентація) [1], [7];

Заняття 9. Кінетика спікання нанопорошків у твердій фазі. Об'ємна усадка при ізотермічному і неізотермічному спіканні. Ідеологія швидкісного нагрівання. Конкуренція механізмів спікання – основа структуроутворення. Ріст зерен при спіканні. (презентація) [1], [7];

Заняття 10. Модульна контрольна робота;

Заняття 11. Сучасні методи швидкої консолідації нанодисперсних порошків. Спікання під високим тиском. Спікання під високим тиском. Гаряче пресування. Гаряче ізостатичне пресування. Спікання ковкою. Вільне спікання без тиску. Електрокондуктивне спікання. (презентація) [1], [4], [9];

Заняття 12. Сучасні методи швидкої консолідації нанодисперсних порошків. Електрокондуктивне спікання. Плазмове і мікрохвильове спікання керамічних матеріалів. Селективне лазерне спікання. (презентація) [1], [2], [6], [8];

Заняття 13. Особливості спікання з контрольованою швидкістю ущільнення. Методологія спікання з контрольованою швидкістю ущільнення. Експериментальне дослідження RCS. (презентація) [1], [6], [7];

Заняття 14. Вплив хімічних реакцій на процеси спікання нанодисперсних систем. Реакція відновлення та окислення металів. Спікання, що супроводжується хімічними реакціями в твердій фазі. (презентація) [1], [6], [7], [10];

Лабораторні роботи

Заняття 1. Вступ. Організація очного/дистанційного навчання. РСО.

Заняття 2. Основні методи дослідження наноматеріалів.

Заняття 3. Основні методи дослідження наноматеріалів.

Заняття 4. Електронна мікроскопія в дослідженнях наноматеріалів.

Заняття 5. Електронна мікроскопія в дослідженнях наноматеріалів.

Заняття 6. Вимірювання питомої поверхні нанопорошків.

Заняття 7. Методи визначення розміру зерен та ОКР.

Заняття 8. Кінетика росту нанопористих анодних плівок.

6. Самостійна робота студента.

Самостійна робота студентів (загальною тривалістю 74 годин) з дисципліни включає такі види робіт:

- самостійне опрацювання літературних джерел для розширення розуміння лекційних тем – в розрахунку 1 годин на 1 годину лекційного заняття – 28 годин;
- підготовці до виконання лабораторних занять, аналізу одержаних результатів та формулюванні висновків розрахунку 2 години на 1 годину виконання лабораторних занять – 36 годин;
- підготовка модульної контрольної роботи (МКР) - 4 годин;
- підготовці до підсумкової атестації – залік - 6 годин.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які ставляться перед студентами:

- Перескладання заліку проводиться під час додаткової сесії за положенням КПІ ім. Ігоря Сікорського відповідно до графіку перескладань, оприлюдненому на сайті ІМЗ ім. Є.О. Патона
- Заохочувальні бали можуть бути призначені за особливі успіхи у навчанні – переважно використання програмного продукту та методик оптимального вибору для розв'язання реальних задач за тематикою власних наукових досліджень, курсового чи дипломного проектування. Сумарна кількість заохочувальних балів може складати від 1 до 10 балів.
- Усі учасники освітнього процесу: викладачі і студенти в процесі роботи вивчення дисципліни мають керуватись принципами академічної доброчесності, передбаченими «Кодексом честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»» <https://kpi.ua/code>.

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

Поточний контроль:

- Експрес-опитування на лекційних заняттях – максимум 2 бал, всього 10 балів.
- модульна контрольна робота, що проводиться на 14-му навчальному тижні. Мінімальнооцінка 10 балів, максимальна 20 балів за контрольну. Відповідь на перше питання оцінюється максимально 6 балами, а на 2 і 3 питання – максимально по 7 балів.

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

Календарний контроль проводиться на 7-8 та 14-15 тижнях семестру навчання. Для позитивного оцінювання 1-го календарного контролю студенту необхідно отримати мінімум 15 балів за лабораторні роботи №1 і №2 (максимально 10 балів за одну роботу). Для позитивного оцінювання 2-го календарного контролю студенту необхідно отримати мінімум 15 балів за лабораторні роботи №3 і №4і мінімально 10 балів за МКР.

Семестровий контроль: залік.

Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг не менше 60 балів за експрес-опитування на лекційних заняттях, умови виконання усіх лабораторних робіт та тематичних МКР.

Студенти, що набрали упродовж семестру не менше 60 балів мають можливість отримати оцінку, згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою.

Для підвищення рейтингової оцінки студент може написати залікову контрольну роботу, але у цьому випадку попередній рейтинг студента скасовується і він отримує оцінку з урахуванням результатів тільки залікової контрольної роботи, згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою.

Залікова контрольна робота проводиться у вигляді письмового опитування; завдання включає 3 теоретичних питань зі списку Додатку Б; на підготовку виділяється 1 академічна година.

Бали за залік нараховуються за оцінювання 3-х питань, відповідно:

- Питання 1 - 12 балів;
- Питання 2 - 14 балів;
- Питання 3 - 14 бали.

Оцінка за відповідь знижується - за принципові помилки у відповіді на 7-5 балів, за неповну відповідь на 5-4 балів, за неправильне використання термінів на 3 бали.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
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)

9.1. Особливості навчання за змішаною або дистанційною формою, пов'язані з дотриманням протиепідемічних заходів введених державними або місцевими органами влади та/або адміністрацією університету. Викладання дисципліни за змішаною або дистанційною формою навчання здійснюється з застосуванням платформи *google.classroom* та середовища *google.meet*. Лекційні заняття проводяться в *on-line* режимі. Темі лекційних занять, демонстраційний матеріал у вигляді презентацій з текстовими коментарями, контрольні запитання надаються студентам заздалегідь. Лекційний час використовується у співвідношенні 1:1 відносно аудиторної форми. Студентам рекомендується для участі у заняттях в середовищі *google.meet* використовувати персональний комп'ютер чи планшет, з розміром екрану не менше 10". Відеокамери комп'ютерів мають бути увімкнені, мікрофони вимкнено. Студент застосовує мікрофон для відповіді на запитання викладача та для того, щоб задати запитання. Заняття проходять із застосуванням власних засобів комп'ютерної техніки студентів. *Online* підключення необхідне на початку заняття для одержання допуску до виконання та одержання завдання. Викладач відповідає на запитання студентів одержані як із сеансу *google.meet* (голосом або через чат) так і через інші засоби електронного зв'язку. Контрольні заходи проводяться у *on-line* режимі.

9.2. Зарахування результатів проходження дистанційних курсів. Враховуючи сучасний розвиток систем дистанційної освіти і різноманітність курсів, що пропонуються провідними університетами світу, студенти можуть оволодіти знаннями з окремих розділів навчальної дисципліни з використанням сервісів *edx.org*, *coursera.org* або *prometeus.org.ua*. Умови зарахування результатів проходження дистанційного навчання визначаються в індивідуальному порядку. Студент, що бажає зарахувати результати дистанційного навчання, має звернутись до викладача з інформацією про дистанційний курс та власні побажання щодо його перезарахування. Рішення про перезарахування може бути прийнято в будь-який час, до проведення підрахунку середнього рейтингу і не може бути відмінене.

У випадку проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою курсу, що підтверджується відповідними сертифікатами, додатково нараховуються 10 балів.

- Перелік питань на тематичну контрольну роботу знаходиться в Додатку А
- Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль – залік знаходиться в Додатку Б.
- Лабораторні роботи плануються з максимальним використанням обладнання лабораторій ЦККНО «Матеріалознавство тугоплавких сполук та композитів» в структурі НН ІМЗ ім. Є. О. Патона, яке застосовується при одержанні та дослідженні широкого спектру порошкових, композиційних матеріалів та покриттів.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено старший викладач каф. Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії,
Руденький С.О.

Ухвалено кафедрою високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

(протокол № 21 від 8 липня 2022 р.)

Погоджено Методичною комісією навчально-наукового Інституту матеріалознавства та зварювання імені Є.О.Патона(протокол № 10/22 від 10 липня 2022 р.)

**ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ,
які виносяться на модульну контрольну роботу**

1. Що представляють собою нанодисперсні системи?
2. Прогнозування властивостей матеріалів і керування технологічними процесами їх отримання в сучасному матеріалознавстві.
3. Класифікація наноструктурних систем за топологічними ознаками.
4. Охарактеризуйте основні різновиди наноматеріалів.
5. Наноструктурні поверхневі шари на підкладці. Багат шарові структури.
6. Розмірна залежність фізичних властивостей наноструктурних матеріалів.
7. Охарактеризуйте основні типи розподілу кристалів за розмірами.
8. Чи можуть нанокристали бути бездефектними? І чому?
9. Які особливості прояву розмірних дефектів в наноматеріалах?
10. Які особливості поверхонь розділу наноматеріалів ?
11. Чим визначається температура фазового переходу? Вплив лапласівського тиску.
12. Розмірна залежність кінетичних властивостей.
13. Коефіцієнти дифузії в наноструктурних матеріалах.
14. Розмірна залежність механічних властивостей.
15. Застосування закон Петча-Холла прививченні властивостей консолідованих наноматеріалів.
16. Розмірний ефект в діелектриках і магнетиках.
17. Фазові переходи в ферромагнетиках і фероелектриках як функції розміру зерен.
18. Які особливості прояву розмірних дефектів в наноматеріалах? Охарактеризуйте спільність поведінки ферроіоків.
19. У чому особливості магнітних властивостей наноматеріалів ?
20. Полідисперсність нанодисперсних систем. Її вплив на кінетичні процеси.
21. Мезоструктура системи випадково пакованих монодисперсних частинок.
22. Параметри геометричної структури і площа поверхні дисперсної системи.
23. Фрактали і фрактальні структури в нанодисперсних системах.
24. Статистичний аналіз геометрії хаотичних, або випадкових упаковок тотожних сфер у просторі.
25. Основні типи консолідованих наноматеріалів. Наведіть приклади.

ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ,

які виносяться на семестровий контроль

Розділ 1 Загальна характеристика наноструктурних систем

1. Прогнозування властивостей матеріалів і керування технологічними процесами їх отримання в сучасному матеріалознавстві.
2. Класифікація наноструктурних систем за топологічними ознаками.
3. Наноструктурні поверхневі шари на підкладці. Багатoshарові структури.
4. Розмір на залежність фізичних властивостей наноструктурних матеріалів.
5. Чи можуть нанокристали бути бездифектними? І чому?
6. Які особливості прояв у розмірних ефектів в наноматеріалах?
7. Які особливості поверхонь розділу в наноматеріалах ?
8. Чим визначається температура фазового переходу? Вплив лапласівського тиску.
9. Розмірна залежність кінетичних властивостей.
10. Коефіцієнти дифузії в наноструктурних матеріалах.
11. Розмірна залежність механічних властивостей.
12. Застосування закон Петча-Холла при вивченні властивостей консолідованих наноматеріалів.
13. Розмірний ефект в діелектриках і магнетіках.
14. Фазові переходи в феромагнетиках і фероелектриках як функції розміру зерен.
15. Полідисперсність нанодисперсних систем. Її вплив на кінетичні процеси.
16. Мезоструктура системи випадково пакованих монодисперсних частинок.
17. Параметри геометричної структури і площа поверхні дисперсної системи.
18. Фрактали і фрактальні структури в нанодисперсних системах.

Розділ 2 Еволюція структури нанодисперсних систем при спіканні.

19. Класифікація консолідованих наноматеріалів.
20. Якими розмірами зерен (шарів, включень, пор) характеризуються наноматеріали?
21. Який зв'язок між структурою і властивостями в наноматеріалах?
22. Як впливають поверхні розділу (міжзерені межі і потрійні стики) на розмір зерен і властивості наноматеріалів.

23. Наведіть формулу Томсона і охарактеризуйте з допомогою неї фізико-хімічні особливості спікання наноматеріалів.
24. Охарактеризуйте рушійні сили спікання (консолідації)
25. Охарактеризуйте механізми консолидації наночастинок.
26. Кінетика спікання нанопорошків в твердій фазі.
27. У чому полягає особливість зростання нанозерен?
28. Порошкові технології консолидованих наноматеріалів.
29. Вплив інтенсивної пластичної деформації на консолидацію наноматеріалів?
30. Особливості спікання з контрольованою швидкістю ущільнення.
31. Сучасні методи швидкої консолидації нанодисперсних порошків.
32. Спікання під високим тиском і гаряче пресування. Охарактеризуйте основні особливості методів.
33. Електрокондуктивне спікання.
34. Плазмове і мікрохвильове спікання керамічних матеріалів.
35. Селективне лазерне спікання.
36. У чому структурна особливість тонких плівок (ТП)? Які ви знаєте способи отримання ТП?
37. Охарактеризуйте основні чинники, що визначають властивості плівок.
38. В чому полягають труднощі застосування порошкових консолидованих наноматеріалів?
39. Охарактеризуйте отримання наноматеріалів методами інтенсивної пластичної деформації і контролюємої кристалізації із аморфного стану.
40. Особливості спікання з контрольованою швидкістю ущільнення.

Розділ 3 Вплив хімічних реакцій на процеси спікання нанодисперсних систем.

41. Реакція відновлення та окислення металів.
42. Вплив високого тиску для отримання великої щільності в ковалентних сполуках.
43. Процеси поліморфного перетворення при термічній обробці.
44. Спікання, що супроводжується хімічними реакціями в твердій фазі.
45. Вплив розчинності на збереження наноструктури за рідкофазного спікання.