



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)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, весняний</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредитів ECTS/ 120 годин: лекції – 28 год; практичні роботи – 18 год; СРС – 75 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік</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 дослідницькій 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 фахових компетентностей спеціальності таких як:

- 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;*
- здатність до аналізу методів та технологій для створення наноматеріалів та виробів з заданими фізико-хімічними, механічними та експлуатаційними властивостями;*

Програмні результати навчання:

Студенти мають продемонструвати 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;*

Студенти повинні уміти:

- 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.

Студенти повинні мати 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)

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 тугоплавких сполук. Знання, що студент отримує під час вивчення дисципліни «**Фізико-хімічна кінетика в наноструктурних матеріалах**», необхідні у підготовці 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 література

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 [Текст] : у 2 томах / Шпак А. П., Куницкий Ю. А., Карбовский В. Л. – Том 1. – Киев : Академперіодика, 2001. – 588 с.
4. Шпак А. П. Кластерные и наноструктурные материалы [Текст] : у 2 томах / Шпак А. П., Куницкий Ю. А., Карбовский В. Л. – Том 2. – Киев : Академперіодика, 2002. – 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 [Текст] : 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 “Наноструктурні матеріали”.

4.2 Допоміжна література

7. Андриевский Р. А. Наноструктурные материалы [Текст] / Р. А. Андриевский А. В. Рагуля. – Москва : Академия, 2005. – 185 с.
8. Рагуля А. В. Консолидированные наноструктурные материалы [Текст] / Рагуля А. В., Скороход В. В. – Киев : Наукова думка, 2007. – 375 с.
9. Проценко І. Ю. Основи матеріалознавства наноелектроніки [Текст] : навч. посібн. / І. Ю. Проценко, Н. І. Шумакова. – Суми : СумДУ, 2004. – 108 с.
10. Валиев Р. З. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией [Текст] / Р. З. Валиев, А. И. Александров. – Москва : Логос, 2000. – 272 с.
11. Нанослойные композиционные материалы и покрытия [Текст] / 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 зі 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 практичних 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. Розмірний ефект в діелектриках і магнетиках.(презентація) [1], [4], [5], [6];

Заняття 4. Нанодисперсні системи. Основні параметри геометричної структури. Характеристики полідисперсності ансамблю частинок. Мезоструктура системи випадково пакованих монодисперсних частинок.(презентація) [1], [3], [6];

Заняття 5. Нанодисперсні системи. Параметри геометричної структури і площа поверхні дисперсної системи. Фрактали і фрактальні структури в нанодисперсних системах.(презентація) [1], [3];

Заняття 6. Еволюція структури нанодисперсних систем при спіканні.

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];

Заняття 7. Модульна контрольна робота.

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],[2],[6];

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

Заняття 10. Кінетика спікання нанопорошків у твердій фазі. Конкуренція механізмів спікання – основа структуроутворення.Ріст зерен при спіканні.(презентація)[1],[6], [7];

Заняття 11. Сучасні методи швидкої консолідації нанодисперсних порошків. Плазмове і мікрохвильове спікання керамічних матеріалів. Селективне лазерне спікання. (презентація)[1], (презентація)[1],[2], [6]-[8], [9];

Заняття 12. Математичне і комп'ютерне моделювання лазерного спікання. Особливості спікання з контрольованою швидкістю ущільнення. Експериментальне дослідження RCS.(презентація)[1],[2], [6],[7];

Заняття 13. 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];

Заняття 9. Залік

Практичні роботи

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

Заняття 2. Визначення розміру частинок порошків методом лазерної дифракції.

Заняття 3. Визначення параметрів фази по електронограмі.

Заняття 4. Вимірювання питомої поверхні порошків методом БЕТ.

Заняття 5. Визначення розміру зерен та ОКР.

Заняття 6. Особливості механічних властивості матеріалів на основі нанопорошків.

Заняття 7. Отримання нанопористих анодних плівок оксиду алюмінію.

Заняття 8. Визначення діелектричної проникності матеріалів.

Заняття 9. Колоквіум.

6. Самостійна робота студента.

Самостійна робота студентів (загальною тривалістю 74 годин) з дисципліни полягає в:

- - самостійному опрацюванні літературних джерел для розширення розуміння лекційних тем – в розрахунку 1 годин на 1 годину лекційного заняття = 27 годин;
- - підготовці до виконання лабораторних занять, аналізу одержаних результатів та формулюванні висновків розрахунку 2 години на 1 годину виконання лабораторних занять (36 години);
- - підготовка до тематичної контрольної роботи - (4 годин);
- - підготовці до підсумкової атестації – заліку(5 годин).

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які ставляться перед студентами:

- Перескладання екзамену 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 1 бал, всього 5 балів.
- Тематична модульна контрольна робота (МКР), що проводиться на 7-му навчальному тижні. Відповідь на перше питання оцінюється максимально 10 балами, а на 2 і 3 питання – максимально відповідно по 18 і 12 балів. Мінімальна оцінка 20 балів за контрольну. Всього за контрольну максимально 40 балів.

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

Календарний контроль проводиться на 7-8 тижнях та на 14-15 тижнях семестру навчання. Для позитивного оцінювання 1-го календарного контролю студенту необхідно отримати мінімум 15 балів за лабораторні роботи №1 і №2 та 20 балів за МКР. Для позитивного оцінювання 2-го календарного контролю студенту необхідно отримати мінімум 20 балів за лабораторні роботи №3, №4, №5.

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 тематичної 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 - 25 балів;
- Питання 2 – 40 балів;
- Питання 3 - 35 бали.

Оцінка за відповідь знижується - за принципові помилки у відповіді на 10-7 балів, за неповну відповідь на 7-5 балів, за неправильне використання термінів на 3 бали.

Після оцінювання відповідей на заліку (виконання залікової контрольної роботи) підсумовуються бали за залік, зводяться до рейтингової оцінки та переводяться до оцінок за університетською шкалою (табл.).

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

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

9.Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

9.1. Особливості навчання за змішаною або дистанційною формою, пов'язані з дотриманням протиепідемічних заходів або воєнного стану 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. Теми 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 в 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 оволодівати знаннями з окремих розділів навчальної дисципліни з використанням сервісів edx.org, coursera.org або prometheus.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 семестрового 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 Сергій Олексійович

Ухвалено кафедрою ВТМ та ПМ (протокол № 9 від 14.02.2025р.)

Погоджено Методичною комісією НН Інституту матеріалознавства та зварювання імені Є.О.Патона (протокол № 6/25 від 19.02.2025р.)

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

1. *Що представляють собою нанодисперсні системи?*
2. *Класифікація наноструктурних систем за топологічними ознаками.*
3. *Охарактеризуйте основні різновиди наноматеріалів.*
4. *Розмірна залежність кінетичних властивостей наноструктурних систем.*
5. *Розмірна залежність механічних властивостей наноструктурних систем.*
6. *Мезоструктура системи випадково пакованих монодисперсних частинок.*
7. *Параметри геометричної структури і площа поверхні дисперсної системи.*
8. *Фрактали і фрактальні структури в нанодисперсних системах.*
9. *Охарактеризуйте основні типи розподілу кристалів за розмірами.*
10. *Які особливості прояву розмірних ефектів в наноматеріалах?*
11. *Які особливості поверхонь розділу в наноматеріалах?*
12. *Полідисперсність нанодисперсних систем. Її вплив на кінетичні процеси.*
13. *Чим визначається температура фазового переходу? Вплив Лапласівського тиску.*
14. *Кінетичні коефіцієнти масопереносу під дією градієнта хімічного потенціалу.*
15. *Кінетика зменшення площі поверхні при зростанні міжчастинкових контактів.*
16. *Кінетика дифузійної коалісценції в нанодисперсних системах.*
17. *Кінетика спікання нанопорошків у твердій фазі.*
18. *Конкуренція механізмів спікання – основа структуроутворення.*
19. *Коагуляція в нанодисперсних середовищах.*
20. *Ріст зерен при спіканні наноструктурованих матеріалів.*
21. *Математичне і комп'ютерне моделювання лазерного спікання.*
22. *Умови рівноваги на межі двох фаз, поділених викривленою поверхнею.*
23. *Розмірний ефект в нанорозмірних системах.*
24. *Розмірний ефект в діелектриках і магнетиках.*
25. *Фазові переходи в наноструктурованих матеріалах.*
26. *Зміна рівноважної температури фазових перетворень.*
27. *Які особливості прояву розмірних ефектів в наноматеріалах?*
28. *У чому особливості магнітних властивостей наноматеріалів?*
29. *Прогнозування властивостей матеріалів керування технологічними процесами їх отримання в сучасному матеріалознавстві.*
30. *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. Розмірна залежність фізичних властивостей наноструктурних матеріалів.
4. Чим можуть нанокристали бути бездефектними і чому?
5. Полідисперсність нанодисперсних систем. Її вплив на кінетичні процеси.
6. Мезоструктура системи випадково пакованих монодисперсних частинок.
7. Параметри геометричної структури і площа поверхні дисперсної системи.
8. Фрактали і фрактальні структури в нанодисперсних системах.

Розділ 2 Еволюція структури нанодисперсних систем при спіканні.

9. Класифікація консолідованих наноматеріалів.
10. Який зв'язок між структурою і властивостями в наноматеріалах?
11. Охарактеризуйте рушійні сили спікання (консолідації).
12. Кінетика спікання нанопорошків в твердій фазі.
13. У чому полягає особливість зростання нанозерен?
14. Кінетичні коефіцієнти масопереносу під дією градієнта хімічного потенціалу.
15. Кінетика зменшення площі поверхні при зростанні міжчастинкових контактів.
16. Кінетика дифузійної коаліценсії в нанодисперсних системах.
17. Кінетика спікання нанопорошків у твердій фазі.
18. Конкуренція механізмів спікання – основа структуроутворення.
19. Коагуляція в нанодисперсних середовищах.
20. Ріст зерен при спіканні наноструктурованих матеріалів.
21. Фазові переходи в наноструктурованих матеріалах.
22. Зміна рівноважної температури фазових перетворень.
23. Вплив інтенсивної пластичної деформації на консолідацію наноматеріалів?
24. Особливості спікання з контрольованою швидкістю ущільнення.
25. Сучасні методи швидкої консолідації нанодисперсних порошків.
26. Математичне і комп'ютерне моделювання лазерного спікання.
27. Особливості спікання з контрольованою швидкістю ущільнення.

Розділ 3 Вплив хімічних реакцій на процеси спікання нанодисперсних систем.

28. Реакції відновлення та окислення металів, що супроводжують спікання дисперсних систем.
29. Вплив високого тиску для отримання великої щільності в ковалентних сполуках.
30. Спікання, що супроводжується хімічними реакціями в твердій фазі.
31. Вплив розчинності на збереження наноструктури при рідкофазному спіканні.
32. Процеси поліморфного перетворення при термічній обробці.