



ОСНОВИ НАНОТЕХНОЛОГІЙ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія¹</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Заочна (екстернат)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>3 кредитів ECTS / 60 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>залік</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська/Англійська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: доктор технічних наук, професор, Юркова Олександра Іванівна, e-mail: yurkova2403@gmail.com²</i>
Розміщення курсу	<i>https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=203924</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/покривтів 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 «Основи нанотехнологій» 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.

¹ В полях Галузь знань/Спеціальність/Освітня програма:

Для дисциплін професійно-практичної підготовки зазначається інформація відповідно до навчального плану. Для соціально-гуманітарних дисциплін вказується перелік галузей, спеціальностей, або «для всіх».

² Електронна пошта викладача або інші контакти для зворотного зв'язку, можливо зазначити прийомні години або години для комунікації у разі зазначення контактних телефонів. Для силабусу дисципліни, яку викладає багато викладачів (наприклад, історія, філософія тощо) можна зазначити сторінку сайту де представлено контактну інформацію викладачів для відповідних груп, факультетів, інститутів.

Метою викладання навчальної дисципліни є формування у студентів фахових компетентностей спеціальності таких 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;

– здатність обирати сучасні методи дослідження структури, хімічного складу, фізико-хімічних та механічних властивостей наноматеріалів (порошкових, композиційних, керамічних, та ін.)

– здатність обґрунтовано обирати сучасні методи та технологічні варіанти отримання наноматеріалів та покриттів з них для заданих умов експлуатації. з урахуванням вимог надійності, економічності, екологічної безпеки, а також сфер застосування.

– **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:

–самостійно встановлювати зв'язок структури та властивостей в наноматеріалах;

–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;

–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;

– 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.

– виконувати оптимальний вибір технології створення наноматеріалів заданого призначення;

– 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)

Студенти самостійно вивчають матеріали дисципліни в шостому семестрі підготовки за освітньою програмою підготовки бакалаврів з матеріалознавства.

Дисципліни, знання з яких необхідні для успішного засвоєння дисципліни «Основи нанотехнологій»: фізика; хімія; фізична хімія; кристалографія, кристалохімія та мінералогія; фізика конденсованого стану; матеріалознавство.

Знання, що студент отримує під час вивчення дисципліни «Основи нанотехнологій», 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 – «Основи нанотехнологій» містить один змістовний модуль: «Основи нанотехнологій»

Розділ 1. Фізичні основи нанотехнологій

Тема 1.1. Вступ. Історія розвитку нанонауки, нанотехніки, нанотехнологій, нановиробництва та основні напрямки нанотехнологій. Основні етапи розвитку науки про наносистеми. Нанотехнології як ключовий напрямок розвитку технологій XXI століття. Інструментарій нанотехнологій. Основні поняття та визначення нанотехнологій. Розвиток і перспективи наноіндустрії. Економічні, соціальні та екологічні наслідки розвитку нанотехнологій.

Тема 1.2. Загальна характеристика наноматеріалів. Принципи класифікації наноматеріалів: за структурними ознаками (ступенем структурної складності): наночастинки, наноструктурні матеріали (консолідовані та нанодисперсії); за топологічними ознаками; за складом, розподілом та формою структурних складових.

Тема 4.1. Особливості структурного стану наноматеріалів

Загальна характеристика структурного стану наноматеріалів. Структурні елементи. Дефекти, поверхні розділу (границі кристалітів, потрійні стики зерен), пограничні сегрегації, пори в наноматеріалах. Дислокації в малорозмірних об'єктах. Характеристика полідисперсності. Особливості структурного стану наноматеріалів, що забезпечують унікальність їх властивостей.

Тема 4.3 Розмірні ефекти в наносистемах. Залежність властивостей наноматеріалів від розміру елементів структури. Розмірна залежність властивостей наноматеріалів (термічних, кінетичних, електричних, магнітних, оптичних, механічних). (електронна презентація)

Розділ 2. Методи та технології отримання наноматеріалів

Тема 2.1 Основні методи отримання наноматеріалів. Класифікація консолідованих наноматеріалів за методами виготовлення та типу структури. Фізичні та хімічні методи отримання. Методи порошкової металургії. Методи отримання нанопорошків. Характеристика та особливості основних методів отримання нанопорошків (*Технологія випаровування і осадження із парової фази; Термічне випаровування; Вибухове випаровування; Електроерозійне диспергування; Сонохімічний синтез (використання ультразвукового впливу); Левітаційно-струминний метод; Хімічні методи; Золь-гель технології*).

Тема 2.2 Особливості та специфічні вимоги щодо компактування нанопорошків. Методи компактування нанопорошків зі збереженням структурного стану та фазового складу (*спікання під тиском; електро-розрядне спікання (Іскро-плазмове спікання), динамічні, високоенергетичні і імпульсні методи пресування тощо*).

Тема 2.3 Методи інтенсивної пластичної деформації (ІПД). Методи об'ємної ІПД (*рівноканальне кутове пресування (РККП), гвинтова екструзія, прокатка зі з'єднанням, знакозмінний вигин, всебічне кування, крутіння під високим тиском тощо*). Методи поверхневої ІПД (*розмелювання в кульовому млині; обробка дробом; силове точіння; високошвидкісне свердління; високошвидкісне тертя*).

Тема 2.4 Контрольована кристалізація з аморфного стану. Технологія плівок і покриттів фізичні методи осадження (PVD), так і хімічні методи (CVD) та їх варіанти.

Розділ 3. Діагностика наносистем

Тема 3.1. Комплексний підхід до дослідження матеріалів. Атестація структури наноматеріалів. Методи дослідження структури наноматеріалів. Рентгеноструктурний аналіз Просвічувальна та скануюча електронна мікроскопія, польова іонна мікроскопія, скануюча зондова мікроскопія (СЗМ) – скануюча тунельна мікроскопія (СТМ), атомно-силова мікроскопія (АСМ). Скануюча зондова літографія для зміни структури поверхні за допомогою СЗМ. СТМ-літографія, силова літографія

Тема 3.2. Атестація хімічного складу наноматеріалів. Спектральні методи дослідження Методи хімічного аналізу. Метод вторинної іонної маспектрометрії (ВІМС), Оже-електронна спектроскопія (ОЕС) Спектроскопія Резерфордівського зворотного розсіювання, Мессбауерівська або Ядерна гамма резонансна (ЯГР) спектроскопія, Ядерна магнітно-резонансна спектроскопія (ЯМР спектроскопія).

Тема 3.3. Атестація механічних властивостей наноматеріалів. Методи визначення комплексу механічних властивостей наноматеріалів на мікро- та нанорівні (методи індентування). Визначення модуля Юнга, мікро- та нанотвердості, характеристики пластичності, границі пружності та границі плинності.

Розділ 4. Вуглецеві наноматеріали

Тема 1. Вуглецеві наноматеріали. Алотропні модифікації вуглецю (графіт, алмаз, карбін, лонсдейліт). Фулерени, історія відкриття, структура, властивості, методи отримання, застосування.

Тема 2. Вуглецеві нанотрубки (ВНТ). Історія відкриття, Структура, властивості, методи отримання, застосування ВНТ, в т.ч. в композитах.

Тема 3. Графен. Історія відкриття, Структура, властивості, методи отримання, застосування графена. Похідні графену: оксид графену, графан та флюорографен (фторид графену) – структура, властивості, методи отримання, застосування.

Тема 4. Графеноподібні наноматеріали: Фосфорен, силицен, германен, станен. структура, властивості, методи отримання, застосування.

4. Навчальні матеріали та ресурси

4.1 Базова

1. Андрієвський Р.А. Наноструктурні матеріали [Текст] / Р.А. Андрієвський, А.В. Рагуля. – М.: Академія, 2005. – 185 с.
2. Наноматеріали, нанопокриття, нанотехнології: учебное пособие [Текст] / Азаренков Н.А., Береснев В.М., Погребняк, А.Д., Маликов Л.В., Турбин П.В. Н.А. – Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2009. – 209 с.
3. Азаренков Н.А. Основы нанотехнологий и наноматериалов: учебное пособие [Текст] / Н.А. Азаренков, А.А. Веревкин, Г.П. Ковтун. – Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2009. – 69 с.
4. Скороход В.В. Фізико-хімічна кінетика в наноструктурних системах [Текст] / В.В. Скороход, І.В. Уварова, А.В. Рагуля. – Київ: Академперіодика, – 2001. – 180 с.
5. Шпак А.П., Куницкий Ю.А., Карбовский В.Л. Кластерные и наноструктурные материалы. Том 1, 2. – Киев: издательский дом «Академперіодика», 2001. – 588 с., 2002. – 540 с.

Перераховані книги є у вільному доступі в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського і можуть бути використані для отримання базових знань з фізики і хімії наносистем.

4.2 Допоміжна

5. Физические основы нанотехнологий и наноматериалы: учебное пособие / В. И. Смирнов. - Ульяновск: УлГТУ, 2017. - 240 с.
6. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии [Текст] / Гусев А.И. М.: Физматлит, 2005, 416 с.
7. И.П. Суздаев. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М.: КомКнига, 2006, 592 с.
7. Валиев Р.З. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией [Текст] / Р.З. Валиев, И.В. Александров. – М.: Логос, 2000. – 272 с.
8. Носкова Н.И. Субмикрористаллические и нанокристаллические металлы и сплавы [Текст] / Н.И. Носкова, Р.Р. Мулюков. – Екатеринбург: УО ЗАН, 2003. – 279 с.
9. Неорганическое материаловедение [Текст]: энциклопед. изд: в 2-х т. / под ред. Г.Г. Гнесина, В.В. Скорохода. – Киев: Наукова думка, 2008. – 1152 с.
10. Головин, Ю. И. Основы нанотехнологий / Ю. В. Головин. - Москва : Машиностроение, 2012. - 653 с.
11. Нанослойные композиционные материалы и покрытия. / А.П. Шпак, В.П. Майборода, Ю.А. Куницкий, С.Л. Рево. Киев: Академперіодика, 2004, 163 с.

Книги, зазначені у списку додаткових навчальних матеріалів, є у вільному доступі бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Рекомендується ознайомитись зі змістом вказаних базових та додаткових джерел, більш глибоко опрацювати рекомендовані викладачем розділи, що відповідають тематиці лекцій та/чи практичних занять. Для окремих розділів доцільно створити електронний конспект.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Студенти самостійно вивчають матеріали дисципліни

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студентів (загальна тривалість 60 годин) з дисципліни полягає в

- самостійному вивченні матеріалів дисципліни, опрацюванні літературних джерел для опанування матеріалу, який не читається (54 години);
- підготовці до семестрового контролю – заліку (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 (PCO)

Поточний контроль: немає

Семестровий контроль: залік.

Залікова контрольна робота, що складається з двох завдань, проводиться письмово, на написання відводиться 2 академічні години.

Відповідь на кожне з питань оцінюється у 50 балів за 100-бальною шкалою, відповідно:

- «відмінно», повна відповідь, не менше 90 % потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв’язування завдання);
- «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь» або є незначні неточності (повне розв’язування завдання з незначними неточностями);
- «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками);
- «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно».

Оцінка за відповідь знижується – за принципові помилки у відповіді на 15-10 балів, за неповну відповідь на 10-5 балів, за неправильне використання термінів на 5 балів.

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)

- У випадку проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою курсу, що підтверджується відповідними сертифікатами, додатково нараховуються 10 балів.
- Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль (екзамен) знаходиться в Додатку А

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено:

професором кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, доктором технічних наук, професором, Юрковою Олександрою Іванівною

Ухвалено:

Кафедрою Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

(протокол № ___ від _____)

Погоджено:

**Методичною комісією Інституту матеріалознавства та зварювання імені Є.О.Патона
(протокол № ___ від _____)**

**ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ,
які виносяться на семестровий контроль**

1. Що означає термін «нанотехнології»? Значення нанотехнологій для науково-технічного прогресу.
2. Історія виникнення та розвитку наноматеріалів та нанотехнологій.
3. Пріоритетні напрямки розвитку наноматеріалів та нанотехнологій. Які основні напрямки нанотехнологій розвиваються в даний час? Наведіть приклади.
4. В чому полягає необхідність розробки нанотехнологій, наноматеріалів?
5. Наведіть найбільш значущі наукові відкриття при становленні нанотехнологій.
6. Що таке НМ та якими розмірами структурних елементів вони характеризуються та чому?
7. Класифікація наноматеріалів та їх особливі властивості.
8. Загальна характеристика структури наноматеріалів та її особливості у порівнянні зі звичайними полікристалічними матеріалами.
9. Границі розділу (границі зерен, потрійні стики зерен, міжзеренний простір) в наноматеріалах. Від чого та як залежить їх об'ємна частка?
10. Як Ви розумієте «Розмірний ефект», як він проявляється в НМ? Навести приклади.
11. Чому при зменшенні розмірів частинок, що складають об'єкт, змінюються його властивості? Наведіть приклади залежності властивостей матеріалів від розмірів наночастинок.
12. Вплив розміру частинок/кристалітів на реакційну та дифузійну здатність і каталітичну активність наноматеріалів.
13. Охарактеризуйте вплив розміру частинок/кристалітів на термодинамічні властивості наноматеріалів.
14. Охарактеризуйте вплив розміру частинок/кристалітів на механічні властивості наноматеріалів.
15. Охарактеризуйте вплив розміру кристалітів на електричні та магнітні властивості.
16. Два підходи до створення наноматеріалів: «з низу до верху» та «зверху до низу».
17. Методи отримання наноматеріалів. Класифікація основних методів отримання дисперсних та наноматеріалів за структурою (розмір елементів структури, разорієнтування границь зерен).
1. Які вимоги повинні забезпечити методи отримання порошків та методи їх компактування для забезпечення наноструктурного стану?
2. Порошкова технологія отримання наноматеріалів. Методи отримання наноматеріалів: методи порошкової металургії.
3. Методи консолідації нанопорошків та вимоги до них щодо збереження наноструктурного стану.
4. Методи високоенергетичного подрібнення (методи інтенсивної пластичної деформації) для отримання нанокристалічної структури.
5. Методи отримання ультрадисперсних та наноматеріалів: методи інтенсивної пластичної деформації.
6. Методи отримання об'ємних нано- та субмікроструктурних матеріалів.
7. Методи та технології отримання НМ: методи поверхневої інтенсивної деформації особливості методів, особливості структури.
8. Технології отримання НМ: тонкоплівкові технології модифікування поверхні.
9. Які матеріали отримують контрольованою кристалізацією з аморфного стану?
10. В чому полягає комплексний підхід до дослідження наноматеріалів. Методи дослідження структури наноматеріалів.
11. Призначення методів скануючої електронної мікроскопії (СЕМ)? Які задачі вирішують методами СЕМ?
- 12.
13. Які задачі вирішують спектральні методи дослідження: ВІМС (вторинна іонна мас спектрометрія), електронна оже-спектроскопія (ЕОС), Резерфордівське зворотне розсіювання (РЗР), ядерний гама-резонанс (ЯГР)?
14. Які задачі вирішують методами польової іонної мікроскопії (ПІМ)?

15. Призначення методів просвічувальної електронної мікроскопії (ПЕМ) та просвічувальної електронної мікроскопії високої роздільної здатності (ВРПЕМ).
16. Призначення методів рентгеноструктурного аналізу для вивчення наноматеріалів.
17. Які задачі вирішують методами скануючої зондової мікроскопії (скануючої тунельної (СТМ) та атомно-силової (АСМ))?
18. Що таке скануюча зондова літографія? Наведіть приклади.
19. Які механічні характеристики наноматеріалів можна визначити методами індентування?
20. Які існують алотропні модифікації вуглецю?
21. Вуглецеві НМ, загальна характеристика структури.
22. Наведіть основні властивості фулеренів та їх області застосування.
23. Що таке фуллерит і які його властивості?
24. Наведіть основні властивості вуглецевих нанотрубок і області їх застосування.
25. Які існують методи отримання вуглецевих нанотрубок?
26. Що таке графен? Поясніть його властивості та застосування.
27. Які існують методи отримання графену?
28. Що таке оксид графену, графан, флюорографен? Які властивості цих наноматеріалів?
29. Опишіть властивості графеноподібних наноматеріалів.
30. Що таке композиційні наноматеріали? Визначення «наноконпозиційні матеріали», типи наноконполітів, властивості.
31. Опишіть властивості і застосування пористого кремнію.
32. Основні напрямки/галузі застосування наноматеріалів.
33. Застосування НМ в медицині.
34. Медичні та біологічні наноматеріали та нанотехнології.
35. Застосування наноматеріалів в приладобудуванні.
36. Застосування нанопористих матеріалів.