



## ТЕОРІЯ І ТЕХНОЛОГІЯ НАНОПОКРИТТІВ

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	132 Матеріалознавство
Освітня програма	ОПП Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	очна(денна)/дистанційна /змішана
Рік підготовки, семестр	1 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	Всього 4 кредити/120 год: лекції - 18 год, лабораторних занять - 18 год, СРС - 84 год.
Семестровий контроль/контрольні заходи	Залік / МКР
Розклад занять	<a href="http://rozklad.kpi.ua/">http://rozklad.kpi.ua/</a>
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.т.н., доцент Барабаш Максим Юрійович, т.067 4452670 Лабораторні: д.т.н., доцент Барабаш Максим Юрійович, т.067 445 26 70
Розміщення курсу	<a href="https://campus.kpi.ua">https://campus.kpi.ua</a>

#### Програма навчальної дисципліни

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

Нанопокриття наношлівкисучаснийта актуальний напрямок матеріалознавства, який дає потужний імпульс розвитку наноелектроніцітамінітюаризації електронних приладів. Вивчатися в дисципліні будуть фізико-хімічні процеси та механізми утворення взаємодії парових потоків, які використовуються при напilenні нанопокриттів та тонких плівок, а також процеси взаємодії напilenих матеріалів з поверхнею на яку напilenюють покриття. Фізико-хімічні властивості та застосування наноструктурованих покриттів.

Набуті знання дозволять вільно орієнтуватися в фізико-технологічних особливостях нанопокриттів, прогнозувати їх властивості і створювати покриття з заданими властивостями

120 годин обсягу дисципліни Теорія і технологія нанопокриттів включають 36 годин лекцій, 18 годин лабораторні роботи і 66 години СРС.

**Метою дисципліни** «Теорія і технологія нанопокриттів» є –поглиблення знань з фізико-хімічних процесів, які мають місце при формуванні нанопокриттіві тонких плівок та посилення у студентів фахових компетентностей таки як:

- Здатність отримання нанопокриттів та тонких плівок різними фізико-хімічними методами, проводити дослідження структури та властивостей композитів і нанопокриттів із вихідних матеріалів різного ступеня дисперсності методами електронної мікроскопії, адсорбційного і електронно-зондового аналізу, рентгенівського дифракційного аналізу, тощо.З глибоким розумінням фізичної сутності і можливостей методів та критичним аналізом отриманих результатів на фізико-механічні властивості нанопокриттів та тонких плівок.
- Здатність аналізувати та прогнозувати фізико-механічні властивості порошкових

композиційних та наноструктурованих матеріалів.

**Предмет** навчальної дисципліни «Теорія і технологія нанопокриттів» є технологія, фізико-хімічні процеси формування нанопокриттів та тонких плівок і можливість створювання їх з наперед заданими властивостями.

#### **Програмні результати навчання:**

- знання теорії щодо отримання сучасних композитів і нанопокриттів із матеріалів з різним ступенем дисперсності;
- знання технології отримання сучасних композитів і покриттів із матеріалів з різним ступенем дисперсності;
- уміння моделювати, проектувати, і створювати нові сучасні композити і нанопокриття із матеріалів різної природи та з різним ступенем дисперсності із необхідним комплексом експлуатаційних властивостей.

#### **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни**

Для вивчення дисципліни «Теорія та технологія нанопокриттів» у здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня повинні бути сформовані компетентності першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 132 Матеріалознавство.

Знання, що студент отримає під час вивчення дисципліни «Теорія і технологія нанопокриттів» необхідні студентам для проведення науково-дослідних робіт і виконання магістерських дисертацій. Результати вивчення дисципліни є складовою інтегральної компетентності підготовки за освітньо-професійною програмою другого (магістерського) рівня вищої освіти.

#### **3. Зміст навчальної дисципліни**

**Вступ. Організація очного/дистанційного навчання.**

##### **Розділ 1. Поняття про поверхню, нанотехнології та нанопокриття.**

Тема 1. Поверхня розглядається як особливий стан кристалічного тіла. Опис поверхні здійснюється в термінах поверхневих центрів, тобто атомів або груп атомів, що належать поверхні. Поняття про поверхневий центр, який завжди локалізований на реальній поверхні твердого тіла і має певну хімічну активність. Фізико-хімічні властивості наноматеріалів та нанопокриттів.

Тема 2. Поняття про вакуум. Вакуумні системи, методи отримання і вимірювання. Технологічні особливості формування нанокристалічних покриттів різними методами. Нанокондитивні покриття. Визначення ролі енергії у формуванні наноструктурних покриттів та тонких плівок. Рівняння Клайперона-Клаузіуса.

##### **Розділ 2. Фізико-хімічні методи отримання нанопокриттів та тонких плівок. Класифікація та властивості нанокристалічних покриттів.**

Тема 1. Загальна характеристика нанопокриттів. Технології отримання нанопокриттів. Класифікація нанопокриттів. Багатошарові наноструктурні покриття. Методи фізичного та хімічного осадження з парової фази (Physical Vapor Deposition, (PVD), Chemical Vapor Deposition (CVD)). Визначення механізмів осадження покриттів.

##### **Розділ 3. Методи дослідження властивостей нанопокриттів.**

Тема 1. Методи структурного та хімічного аналізу нанооб'єктів. Електронна мікроскопія: сканувальна та на просвіт. Сканувальна тунельна мікроскопія. Атомно-силова мікроскопія. Рентгеноструктурний аналіз. Спектральні методи дослідження. Фізико-механічні властивості наноструктурних покриттів. Механічні випробування нанопокриттів. Методи наноіндентування. Типова експериментальна крива безперервного індентування. Обробка діаграм (навантаження/глибина індентування). Вплив температури на властивості нанокристалічних покриттів.

##### **Розділ 4. Особливості структуроутворення нанопокриттів.**

Тема 1. Структуроутворення в металокерамічних тонких плівках, отриманих за допомогою High Deposition Solidification (HDS) технології. Використання діаграм стану для розробки режимів одержання тонкопліткових матеріалів. Контроль параметрів тонких плівок і технологічних режимів їх наплення. Застосування наноструктур для створення елементів приладових пристроїв (наноштампівка) для біомедичних застосувань, мікрофотоніки, мікрооптики.

#### **4. Навчальні матеріали та ресурси.**

Основна:

1. Технологія та обладнання напилених покриттів : навчальний посіб. для студентів вищ. нав. зак. / Білик І. І. - Київ : ІВЦ «Видавництво "Політехніка"», 2002. - 101 с.

2. Дубовий О. М. Технологія напилювання покриттів : підручник / О. М. Дубовий, А. М. Степанчук. - Миколаїв : НУК, 2007. - 236 с.
3. Технологія та обладнання напилених покриттів : навчальний посіб. для студентів вищ. нав. закл. / Білик І. І. – Київ : ІВЦ «Видавництво «Політехніка»», 2002. – 101 с.
4. Наноматеріали і нанотехнології: Навчальний посібник / Азаренков М.О., Неклюдов І.М., Береснев В.М., Воєводін В.М., Погребняк О.Д., Ковтун Г.П., Соболев О.В., Удовицький В.Г., Литовченко С.В., Турбін П.В., Чишкала В.О.– 2014. – 323 с.
5. Функціональні наноматеріали. Конспект лекцій для здобувачів ступеня бакалавра спеціальності 132 Матеріалознавство / С.П. Панченко; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д.: НТУ «ДП», 2022. – 47 с.
6. Наноструктури та нанокапсули [Електронний ресурс] : конспект лекцій з дисципліни «Наноструктури та нанокапсули» для студентів спеціальності 163 «Біомедична інженерія» всіх форм навчання / уклад. О. М. Сорочан. –Маріуполь : ПДТУ, 2019. – 86 с.
7. Наноматеріали, нанопокриття, нанотехнології:Учебноепособие / Азаренков Н. А., Береснев В. М., Погребняк А. Д., Маликов Л. В., Турбин П. В. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2009. – 209 с.
8. Композиційні та наноматеріали : навчальний посібник [електронне видання] [для підготовки аспірантів, які навчаються за спеціальністю «Галузеве машинобудування»] / О. С. Колосов. – К.: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2017. – 224 с.

Додаткова:

1. Білик І. І. Обладнання та технологія напилених покриттів : методичні вказівки до лабораторних робіт по курсу / І. І. Білик. - Київ : ІВЦ «Видавництво «Політехніка»», 2003. - 36 с.
2. Корж В. М. Технологія та обладнання для напилювання : навчальний посібник / В. М. Корж. - Київ : НМЦВО, 2000. - 152 с.

Інформаційні ресурси

1. [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
2. <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/2a8c2f73-ecea-4c16-8ba6-68aa025c431f>
3. <http://dspace.univer.kharkov.ua/handle/123456789/5485>

### **Навчальний контент**

## **5 Методика опанування навчальної дисципліни.**

### **Лекційні заняття**

Розділ 1. Лекцій 2, лабораторна робота 1.

Лекція 1 Вступ. Загальна характеристика нанопокриттів. Класифікація нанопокриттів. Методи одержання. Нанопокриття, що отримують осадженням матеріалу на поверхню. Властивості наноматеріалів та нанопокриттів.

Лекція 2. Вакуумні системи, методи отримання і вимірювання.

При підготовці до лекцій бажано ознайомитися з загальною теорією утворення покриттів і факторами які впливають на формування структури. Для виконання лабораторної роботи ознайомитися з способом виготовлення шліфів і порядком роботи на установці ВУП-5М.

Розділ 2. Лекцій 3, Лабораторна робота 1.

Лекція 3. Особливості формування нанокристалічних покриттів різними методами. Роль енергії у формуванні наноструктурних покриттів та плівок. Рівняння Клайперона – Клаузіса.

Лекція 4. Модульна контрольна робота. Методи фізичного та хімічного осадження з парової фази (Physical Vapor Deposition, PVD, Chemical Vapor Deposition CVD). Механізми осадження покриттів.

Лекція 5. Види наноструктурних покриттів. Будова і властивості наноструктурних покриттів. Вибір умов і параметрів напилення в залежності від технології та виду матеріалу. Вплив швидкості нагрівання/охолодження на процеси структуроутворення нанопокриттів.

Розділ 3. Лекція 6. Багатошарові наноструктурні покриття. Механічні властивості нанокристалічних покриттів. Вплив температури на властивості нанокристалічних покриттів.

Лекція 7. Класифікація тонкопліткових матеріалів та методів їх одержання. Моделі поверхні кристалів. Зародкоутворення. Фундаментальні процеси при утворенні конденсованої фази.

Розділ 4. Лекцій 2, лабораторна робота 2.

Лекція 8. Структуроутворення в металокерамічних тонких плівках, отриманих за допомогою High Deposition Solidification (HDS) технології. Використання діаграм стану для розробки режимів

одержання тонкоплівкових матеріалів. Контроль параметрів тонких плівок і технологічних режимів їх напilenня.

Лекція 9. Методи контролю властивостей нанопокриттів. Наноіндентування. Скануюча та просвітлююча електронна мікроскопія. Скануюча тунельна мікроскопія. Атомно-силова мікроскопія. Рентгеноструктурний аналіз. Спектральні методи дослідження. Триботехнічні випробовування нанокристалічних матеріалів.

## 5.2. Лабораторні заняття.

Лабораторна робота №1. Ознайомитися з порядком роботи на установці ВУП-5 та підготувати її до роботи. Підготувати вакуумну систему для роботи на обладнанні ВУП-5, провести відкачку та проаналізувати рівень вакууму та засоби його вимірювання (8 год).

Лабораторна робота №2. Ознайомитись з основні методами отримання нанопокриттів та тонких плівок. Дослідження формування їх методами вакуумного напilenня. Визначення впливу режимів напilenня на структуру нанопокриттів. (8 год).

**Залік.**

### 6 Самостійна робота студентів.

Самостійна робота студентів (84 год.) складається з:

- підготовка до лекцій 18 год;
- підготовка до лабораторних робіт, написання протоколу 18 год;
- підготовка до контрольної роботи 6 год;
- підготовка до заліку 6 год;
- робота над темами самостійного опрацювання 36 год

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Застосування нанопокриттів в техніці.	4
2	Технологія отримання нанопокриттів та тонких плівок	10
3	Особливості механізмів формування нанопокриттів	10
4	Застосування нанопокриттів в електроніці	8
5	Контроль фізико-механічних властивостей нанопокриттів	4

## Політика та контроль

### 6. Політика навчальної дисципліни.

Правила відвідування занять. Відвідування лекційних занять є бажаним, хоча і не обов'язковим. Відвідування лекційних занять дозволить студентам не тільки опанувати теоретичні знання безпосередньо на лекції, але і задати викладачу питання, що виникають під час викладання матеріалу лекції. Відвідування лабораторних занять є обов'язковим.

Правила поведінки на заняттях.

На усіх заняттях, лекційних і лабораторних, вітається відключення звукових сигналів телефонів. Під час проведення лабораторних робіт у очному режимі в лабораторії №024-9 корпусі студенти повинні суворо дотримуватись правил техніки безпеки.

Умовою допуску до виконання лабораторної роботи є наявність у студента написаного протоколу. За дистанційної форми навчання студенти отримують індивідуальний доступ до завдання для лабораторної роботи за адресою даною викладачем і не пізніше тижня після виконання роботи надсилають викладачу оформлений звіт. Перевірка здійснюється викладачем у продовж наступного тижня. Перескладання заліку проводиться під час додаткової сесії за положенням НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського" відповідно до графіку перескладань оприлюдненому на сайті ІМЗ ім. Є.О. Патона.

Усі учасники освітнього процесу: викладачі і здобувачі в процесі вивчення дисципліни мають керуватись принципами академічної доброчесності, передбаченими «Кодексом честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»» <https://kpi.ua/code>.

## 7. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

### 7.1 Види контролю

- Поточний контроль: лабораторні роботи, модульна контрольна робота (МКР).
- Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог програми.
- Семестровий контроль: залік

Кожний вид робіт оцінюється за 22-бальною шкалою.

### Критерії нарахування балів.

До кожної лабораторної роботи студент повинен підготувати протокол, який складається із:

- номера;
- назви;
- мети;
- теоретичних відомостей, до яких включають основні визначення та умовні позначення;
- порядок виконання.

За дистанційної форми навчання напередодні заняття студенти направляють написаний відруки протокол викладачу для перевірки. На занятті студенти допускаються до тестів з теорії лабораторної роботи. Після чого викладач проводить презентацію online для ознайомлення студентів із обладнанням і алгоритмом проведення лабораторної роботи. В кінці лабораторної роботи студенти отримують доступ до результатів дослідження. У продовж тижня студенти оформляють протокол лабораторної роботи відповідно до вимог завдання і надсилають на перевірку викладачу.

За очної і дистанційної форми навчання кожна виконана і оформлена лабораторна робота оцінюється максимально у 22 бали за такими критеріями:

- підготовлений до лабораторної роботи протокол у відповідності до вимог - 2 бали;
- знання теорії лабораторної роботи - 8 балів;
- виконання лабораторної роботи, проведення розрахунків за результатами дослідження та їх обговорення - 8 балів;
- оформлення результатів відповідно до вимог і захист - 4 бали.

Штрафні бали призначаються за:

- відсутність протоколу - 6 балів;
- протокол, що не відповідає вимогам - 5 балів;
- несамостійна робота на лабораторному занятті - 5 балів.

### Календарний контроль.

Календарний контроль (КК) проводиться на 7-8 та 14-15 тижнях семестру навчання. Для позитивного оцінювання 1-го КК студенту необхідно оформити і захистити ЛР №1 щонайменше на 11 балів і отримати мінімум 30 балів за МКР. Для позитивного оцінювання 2-го КК студенту необхідно отримати мінімум по 11 балів за лабораторну роботу №2

Таблиця 1 загальний контроль та РСО

Поточне тестування та контроль, бали				Залік	Модульна контр.роб.	Конспект	Робота на лаборат.	Сума
Модульна КР (10 питань тест)	Залікова контрольна робота (тест)	Календарний						
		8 тиждень	15 тиждень	ε	10 питань (тест)	наявність	максимум 22 бал за кожну ЛР	$\sum(1,2,3)$
10·5=50	10·10=100	≥20	≥50	60	10·5=50	6	22·2=44	100

### Залік.

Умовою допуску до заліку є виконання усіх лабораторних робіт і виконання МКР.

Стартовий рейтинг має скласти не менше 60 балів, відповідно:

Лабораторні роботи - 44 бали (кожна ЛР щонайменше оцінюється у 11 балів) та МКР - 50 балів;

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 залікової контрольної роботи, згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою.

Залікова контрольна робота проводиться письмово. На проведення залікової контрольної роботи виділяється 2 академічні години часу.

Залікова контрольна робота складається із 3 питань, відповідно по одному питанню із кожного розділу, 1 та 2 питання оцінюються максимально у 35 балів кожне, 3 питання 30 балів. Сумарна максимальна оцінка складає 100 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	залік
94-85	залік
84-75	залік
74-65	залік
64-60	залік
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** доцент, д.т.н., с.н.с., Барабаш Максим Юрійович

**Ухвалено** кафедрою ВТМ та ПМ (протокол № 17 від 26.06.2024р.)

**Погоджено** Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є. О. Патона (протокол № 12/24 від 28 червня 2024 р.)

Додаток

Питання до модульної контрольної роботи

1. Загальна характеристика нанопокриттів.
2. Класифікація нанопокриттів.
3. Особливості формування нанокристалічних покриттів різними методами.
4. Застосування металевих одно і багато шарових нанопокриттів.
5. Методи фізичного та хімічного осадження з парової фази (Physical Vapor Deposition, PVD, Chemical Vapor Deposition CVD).
6. Вплив умов отримання на властивості нанопокриттів.
7. Механізм конденсації нанопокриттів.
8. Стадії росту нанопокриттів.
9. Утворення дефектів в процесі росту нанопокриттів.
10. Роль енергії в формуванні нанопокриттів.
11. Технологія отримання нанопокриттів.
12. Спосіб наноіндентування.
13. Особливості формування нанокристалічних нанопокриттів.
14. Механічні властивості нанокристалічних покриттів.
15. Вибір умов і параметрів напилення в залежності від технології та виду матеріалу.
16. Багатошарові наноструктурні покриття.
17. Вплив швидкості нагрівання/охолодження на процеси структуроутворення нанопокриттів.
18. Рівняння Клайперона – Клаузіса.
19. Визначення адгезійних властивостей нанопокриттів.
20. Підготовка поверхні для нанесення нанопокриттів.
21. Фундаментальні процеси утворення конденсованої фази.
22. Утворення дефектів у процесі росту нанопокриттів.
23. Використання діаграм стану для розробки режимів одержання тонкоплівкових матеріалів.
24. Контроль параметрів тонких плівок і технологічних режимів їх напилення.
25. Методи контролю властивостей нанопокриттів.
26. Скануюча та просвітлююча електронна мікроскопія.
27. Скануюча тунельна мікроскопія.
28. Атомно-силова мікроскопія.
29. Рентгеноструктурний аналіз.
30. Спектральні методи дослідження.
31. Триботехнічні випробовування нанокристалічних матеріалів.