



## ТЕОРІЯ І ТЕХНОЛОГІЯ НАНОПОКРИТТІВ

### Робоча навчальна програма дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	132 Матеріалознавство
Освітня програма	ОНП Матеріалознавство
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	1 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	Всього 4 кредити/120 год: лекції – 36 год, лабораторних занять – 18 год, СРС – 66 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., професор Смірнов Ігор Володимирович Лабораторні: д.т.н., професор Смірнов Ігор Володимирович
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.

Нано покриття відносно молодий напрямок матеріалознавства, який дав потужній імпульс розвитку електроніці і мінітюаризації електронних приладів. Вивчатися в дисципліні будуть фізико – хімічні процеси утворення та взаємодія парових потоків, які використовуються при напилюванні нанопокриттів, а також процесів взаємодії напилених матеріалів з поверхнею на яку наносять покриття. Властивості та застосування наноструктурованих покриттів.

Набуті знання дозволять вільно орієнтуватися в 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: – поглибити знання по фізико-хімічних процесах, які мають місце при формуванні нано покриттів та підсилення у студентів фахових компетентностей таки як:

- Здатність проводити дослідження структури композитів і покриттів із вихідних матеріалів різного ступеня дисперсності методами мікроскопії, адсорбційного і електронно-зондового аналізу, рентгенівського дифракційного експерименту тощо із глибоким розумінням фізичної сутності і можливостей методів та критичним аналізом його результатів
- 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 і можливість створювати покриття з наперед заданими властивостями.

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

- знання теорії отримання сучасних композитів і покриттів із матеріалів з різним ступенем дисперсності;
- знання технології отримання сучасних композитів і покриттів із матеріалів з різним ступенем дисперсності;
- уміння проєктувати і створювати нові сучасні композити і покриття із матеріалів з різним ступенем дисперсності із необхідним комплексом експлуатаційних.

## **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. Технології отримання нанопокриттів.**

Тема 1. Застосування металевих одно і багатошарових нанопокриттів. Рівняння Клайперона – Клаузіса. Правило Троутона (пов'язує ентропію і температуру кипіння). Механізм конденсації. Етапи росту наноплівки. Внутрішні напруження в наноплівках.

Тема 2. Вплив іонного бомбардування на формування покриттів. Структурна зонна модель Торнтонна. Багатокомпонентні наноплівки. Моделі Барна і Адамка. Багатошарові покриття з наноструктурою. Нанокompозитні покриття. Нанокристалічні покриття з високою твердістю. 3D - тривимірні покриття: одношарові нанокompозитні покриття.

### **Розділ 2. Механічні властивості нанокристалічних покриттів.**

Тема 1. Твердість наноструктурних покриттів. Способи збільшення твердості нанопокриттів. Структура покриттів нітриду титану з кремнієм. фактори, що визначають розмір кристалітів. твердість багато компонентних покриттів з наноструктурою. Механічні випробування нанопокриттів. Методи наноіндентування і мікроіндентування. Типова експериментальна крива безперервного індентування. Обробка діаграм (навантаження / глибина індентування).

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

Тема 1. Методи не руйнівні. Методи структурного та хімічного аналізу нанооб'єктів. Електронна мікроскопія - (просвічує електронна мікроскопія), (відбиваюча електронна мікроскопія, мікроскопія повільних електронів, скануюча електронна мікроскопія). Просвічує електронна мікроскопія. Іонно-польова мікроскопія. Скануюча електронна мікроскопія (SEM). Сканируюча тунельна мікроскопія. Атомно-силова мікроскопія. Рентгеноструктурний аналіз. Спектральні методи дослідження.

## **Розділ 4. Застосування нанопокриттів в техніці.**

Тема 1. Покриття для підвищення працездатності ріжучого інструменту, зносостійкості вузлів деталей машин. Наноструктурні покриття в навігаційно-приладових комплексах. Наноструктурні покриття на лопатки компресора ГТД. Застосування наноструктур для створення елементів приладових пристроїв (наноштампівка) для біомедичних застосувань, мікрофотоніки, мікрооптики.

### **3. Навчальні матеріали та ресурси.**

Основна:

1. Технологія та обладнання напилених покриттів : навчальний посіб. для студентів вищ. нав. закл. / 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. Нанесення покритті : навчальний посібник для студентів вищ. нав. закл. / Корж В. М., Кузнецов В. Д., Борисов Ю. С., Ющенко К. А. – Київ : Арістей, 2005. – 150 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.scinedirect.com](http://www.scinedirect.com)
2. <http://www.tspc.ru>
3. <http://www.dimet.com.ua>

### **Навчальний контент**

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

##### **Лекційні заняття**

Розділ 1. Лекцій 4, лабораторна робота 1, частина 1.

Лекція 1. Вступ. Загальна характеристика нанопокриттів. Тонкоплівкові технології модифікації поверхні.

Лекція 2. Характеристика поверхневих наноструктур на підкладках. Класифікація нанопокриттів. В лекціях приводяться приклади застосування нанопокриттів, та особливості технологій їх нанесення.

Лекція 3. Формування нанокристалічних покриттів. Модель Тронтона Роль енергії в формуванні покриттів. Особливості формування. Технологічні параметри осадження.

Лекція 4. Рівняння Клайперона – Клаузіса, Етапи росту наноплівки. Внутрішні напруження в наноплівках. Вплив іонного бомбардування на формування покриттів.

Лекція 5. Загальна теорія утворення покриттів і фактори які впливають на формування структури.

Розділ 2. Лекцій 4, Лабораторна робота 1, частина 2.

Лекція 6. Вплив іонного бомбардування на формування нанопокриттів. Процес змішування парових потоків. Багаточастотні покриття з наноструктурою.

Лекція 7. Наноконтрольні нанопокриття. Нанопокриття з високою твердістю. Класифікація по твердості, фазам і розмірам фаз.

Лекція 8. Механічні властивості нанокристалічних покриттів. Вплив температури на властивості нанокристалічних покриттів.

Лекція 9. **Модульна контрольна робота.**

Лекція 10. Вплив легуючих елементів на властивості нанопокриттів (приклад нітриду титану з додаванням кремнію. Розмір кристалітів і твердість багатокомпонентних покриттів з наноструктурою., В лабораторній роботі провести аналіз структури отриманих покриттів з допомогою скануючого мікроскопу РЕМ – 106И. Визначити розмір і форму зерен нітриду титану в залежності від режимів напилювання, обговорити результати і зробити висновки.

Розділ 3. Лекцій 5, лабораторні роботи 2 частина 1.

Лекція 11. Вплив умов отримання на властивості нанопокриттів. Підготовка поверхні, Ідеальна поверхня. Зародковий механізм утворення. Механізм конденсації.

Лекція 12. Стадії росту нанопокриттів. Утворення острівців і їх коалесценція утворення каналів. Критична товщина і критична температура конденсації. Види дефектів, їх утворення в процесі росту. Внутрішні напруження в нанопокриттях і їх розрахунок

Лекція 13. Методи контролю властивостей нанопокриттів. Мікрозважування. Наноіндентування. Вимірювання механічних характеристик нанопокриттів.

Лекція 14. Методи структурного та хімічного аналізу нанооб'єктів. Електронна мікроскопія, скануюча електронна мікроскопія). Просвічує електронна мікроскопія. Іонно-польова мікроскопія. Сканируюча тунельна мікроскопія. Атомно-силова мікроскопія. Рентгеноструктурний аналіз. Спектральні методи дослідження.

Розділ 4. Лекцій 2, лабораторна робота 2, частина 2.

Лекція 15. Застосування нанокристалічні покриття в техніці. Електроніка (резистори, інтегральні схеми, конденсатори, сенсори та ін.) Розмірні ефекти. Застосування наноструктур для створення елементів приладів різного призначення.

Лекція 16. Застосування наноструктур для створення елементів приладових мікропристроїв за допомогою нанощтампівка для біомедичних застосувань, мікрофотоніки, мікрооптики.

Лекція 17. Перспективи розвитку і удосконалення технологій нанесення нанопокриттів та їх використання в техніці

Лекція 18. **Залік.**

## **5.2. Лабораторні заняття.**

Лабораторна робота №1. Вплив режимів напилення на структуру нанопокриттів (10 год).

Лабораторна робота № 2. Отримання наноструктурованих нанопокриттів реакційним напилюванням (8 год).

## **6. Самостійна робота студентів.**

Самостійна робота студентів (66 год.) складається з:

- підготовка до лекцій 18 год;
- підготовка до лабораторних робіт, написання протоколу 9 год;
- підготовка до контрольної роботи 6 год;
- підготовка до заліку 6 год;
- робота над темами самостійного опрацювання 27 год

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Застосування нанопокриттів в техніці.	4
2	Технологія отримання нанопокриттів	10
3	Особливості формування нанопокриттів	10
4	Застосування нанопокриттів в електроніці	8
5	Контроль 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 (РСО)

#### 7.1 Види контролю

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

Кожний вид робіт оцінюється за 100-бальною шкалою. Коефіцієнти вагомості наведено у формулі

$$O_{\text{семестр}} = 0,25 \sum O_{\text{л}} + 0,5 O_{\text{мкр}}$$

#### Критерії нарахування балів.

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

- номери;
- назви;
- мети;

- теоретичних відомостей, до яких включають основні визначання та умовні позначення;
- порядок виконання.

За дистанційної форми навчання напередодні заняття студенти вправляють 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 досліду. 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 100 балів за такими критеріями:

- підготовлений до лабораторної роботи протокол у відповідності до вимог – 10 балів;
- знання теорії лабораторної роботи – 30 балів;
- виконання лабораторної роботи, проведення розрахунків за результатами досліду та їх обговорення – 50 балів;
- оформлення результатів відповідно до вимог і захист – 10 балів.

Штрафні бали призначаються за:

- відсутність протоколу – 10 балів;
- протокол, що не відповідає вимогам – 5 балів;
- несамостійна робота на лабораторному занятті – 5 балів.

Ваговий коефіцієнт оцінювання результатів виконання всіх лабораторних робіт складає 0,25.

### **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 50 балів і отримати мінімум 50 балів за МКР. Для позитивного оцінювання 2-го КК студенту необхідно отримати мінімум по 50 балів за лабораторну роботу №2 .

### **Залік.**

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

Стартовий рейтинг має скласти не менше 60 балів, відповідно:

Лабораторні роботи – 30 бали (кожна ЛР щонайменше оцінюється у 18 балів) та МКР – 30 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.

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

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.

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

**Складено** професором, д.т.н., Смірновим Ігорем Володимировичем

**Ухвалено** кафедрою ВТМ та ПМ (протокол № 17 від 22 червня 2024 р.)

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

Питання до модульної та залікової контрольної роботи

1. Класифікація наноструктурованих об'єктів за формою структурних елементів та їх розташуванням у просторі.
2. Формування нанокристалічних покриттів.
3. Застосування металевих одно і багато шарових нанопокриттів.
4. Вплив умов отримання на властивості нанопокриттів.
5. Механізм конденсації нанопокриттів.
6. Стадії росту нанопокриттів.
7. Утворення дефектів в процесі росту нанопокриттів.
8. Процес старіння нанопокриттів.
9. Технологія отримання нанопокриттів.
10. Спосіб наноіндентування.
11. Роль енергії в формуванні нанопокриттів.
12. Особливості формування нанокристалічних нанопокриттів.
13. Механічні властивості нанокристалічних покриттів.
14. Вплив температури на властивості нанокристалічних покриттів.
15. Застосування нанопокриттів для створення елементів електронних приладів.
16. Застосування нанопокриттів для створення елементів мікроінструментів.
17. Визначення адгезійних властивостей нанопокриттів.
18. Підготовка поверхні для нанесення нанопокриттів.
19. Критична товщина і критична температура конденсації.
20. Утворення дефектів у процесі росту нанопокриттів.
21. Вимоги до ідеальної поверхні.
22. Нанокмпозитні покриття.