



## Теорія і технологія нанопокриттів (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої  
освіти

*Другий (магістерський)*

Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	132 Матеріалознавство
Освітня програма	Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	очна(денна)/заочна
Рік підготовки, семестр	2 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	Всього: денна форма навчання 4 кредити (лекції 18, лаб.18,срс 84. Заочна форма навчання 4 кредити (лекції 10,лаб.6,срс104)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Денна форма – залік, мкр. Заочна форма –залік, дкр.
Розклад занять	
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., доцент Білик Ігор Іванович, т.067 772 30 02 Лабораторні: к.т.н., доцент Білик Ігор Іванович, т.067 772 30 02
Розміщення курсу	

### Програма навчальної дисципліни

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

Предмет навчальної дисципліни

1. Фізико – хімічні процеси утворення взаємодії парових потоків, які використовуються при напилюванні нанопокриттів.
2. Теплові і кінетичні процеси при взаємодії напилених матеріалів з тепловими потоками.
3. Процеси взаємодії напилених матеріалів з поверхнею на яку наносять покриття. Властивості та застосування наноструктурованих покриттів.
4. Теорія і технологія нанесення, дослідження властивостей та контроль якості наноструктурованих покриттів.

Міждисциплінарні зв'язки:

Фізика, хімія, фізика конденсованого стану матеріалів, теорія формування напилених покриттів, матеріалознавство композиційних матеріалів, – це дисципліни, які забезпечують вивчення дисципліни “Теорія і технологія нанопокриттів”

Програму навчальної дисципліни “Теорія і технологія нанопокриттів” складено відповідно до освітньо-професійної програми підготовки магістрів напрямку підготовки 132 “Матеріалознавство”. Вона відноситься до циклу дисциплін освітньої програми Нанотехнологій та комп’ютерного дизайну матеріалів

Застосування наноматеріалів та нанопокриттів дозволяють значно підвищити експлуатаційні можливості машин і механізмів, які не можливо мати при використанні звичайних матеріалів, а також досягти значних успіхів в електроніці.

**Метою дисципліни** «Теорія і технологія нанопокриттів» є: – поглибити знання по фізико-хімічних процесах, які мають місце при формуванні нано покриттів: плавлення та випаровування металів, взаємодія напіляємих частинок з газовим потоком, формування структури покриття, а також технології отримання та практичне застосування наноструктурованих покриттів.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

### **Компетенції**

ЗК1 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу

ЗК2 Здатність застосування знань у практичних ситуаціях

ЗК3 Здатність вчитися та оволодівати сучасними знаннями

ЗК 4 Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми

ЗК 5 Здатність приймати обґрунтовані рішення

ЗК 6 Здатність до адаптації та дії в новій ситуації

ЗК 7 Здатність використання інформаційних і комунікаційних технологій

ЗК 8 Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово

ЗК 10 Здатність працювати автономно

ЗК 11 Здатність працювати в команді

ФК 3 Здатність ефективно використовувати технічну літературу та інші джерела інформації і галузі матеріалознавства

ФК 7 Здатність застосовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів, необхідних для підтримки діяльності в сфері матеріалознавства

ФК 16 Здатність вибирати методи досліджень, розрахунків і конструювання композитів і покриттів із вихідних порошків різного ступеня дисперсності

ФК 18 Здатність обирати метод отримання композитів і покриттів із вихідних порошків різного ступеня дисперсності відповідно вимогам до нього

**Знання:**

ЗН 1 Логіки та методології наукового пізнання  
ЗН 3 Сучасних інформаційних та комунікаційних технологій  
ЗН 9 Алгоритму дії в стандартних професійних ситуаціях  
ЗН 10 Писемної та усної комунікації державною та іноземною мовами  
ЗН 11 Базові та сучасні з інженерних дисциплін  
ЗН 15 Методів фізичного і математичного моделювання, що застосовуються для створення нових і удосконалення існуючих матеріалів, технологій їх виготовлення  
ЗН 16 Типових технологій виробництв та обробки матеріалів і виробів з них ЗН29 Впливу технологічних параметрів методів отримання композитів і покриттів із вихідних порошків різного ступеня дисперсності на експлуатаційні характеристики виробів

**- Уміння:**

- УМ 1 Застосовувати логіку та методологію наукового пізнання  
УМ 2 Використовувати знання фундаментальних наук на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми  
УМ 3 Володіти засобами сучасних інформаційних та комунікаційних технологій  
УМ 8 Застосовувати свої знання для вирішення проблем в новому або незнайомому середовищі  
УМ 11 Вільно спілкуватися державною та іноземною мовами з професійних питань як усно, так і письмово  
УМ 20 Знаходити потрібну інформацію у літературі, консультуватися і використовувати наукові бази даних та інші відповідні джерела інформації з метою детального вивчення і дослідження інженерних питань  
УМ 29 Оцінити доцільність використання покриттів і виробів із композитів із вихідних порошків різного ступеня дисперсності

## **2.Пререквізити та пост реквізити дисципліни**

Фізика, хімія, фізика конденсованого стану матеріалів, матеріалознавство композиційних матеріалів, теорія формування структури і властивостей напиленних покриттів. Базовий рівень володіння англійською мовою А2.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### **Розділ 1.Вступ, Технології отримання нанопокриттів.**

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

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

Твердість наноструктурних покриттів. Способи збільшення

твердості нанопокриттів. Структура покриттів нітриду титану з кремнієм.

Фактори, що визначають розмір кристалітів. твердість багатоком-понентних 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.**

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 (СЕМ). Сканируючая тунельна мікроскопія. Атомно-силова мікроскопія. Рентгеноструктурний аналіз. Спектральні методи дослідження.

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

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.

### **5. Навчальні матеріали та ресурси.**

Основна:

1. Азаренко А.А., Береснев В.М., Погребняк А.Д. Структура и свойства защитных покрытий и модифицированных слоев материалов. – Харьков: ХНУ им. В.Н. Каразин, 2007. – 576 с.
2. Порошковая металлургия и напыленные покрытия: учебник для вузов/ Анциферов В.Н., Бобров Г.В., Дружинин Л.К.[ и др.]; под ред. Док. тех. наук, проф. С.М.Митина. -М.: Металлургия, 1987, -792с.
- 3 .Білик І.І. Технологія та обладнання напилених покриттів. Навчальний посібник – Київ Політехніка 2004 - 101 с.
3. Дубовий О.М. Технологія напилювання покриттів/. О.М.Дубовий, А.М. Степанчук А.М.: Підручник. – Миколаїв: НУК 2007. -236с.

Додаткова:

1. Обладнання та технологія напилених покриттів: Методичні вказівки до лабораторних робіт по курсу -К.: ІВЦ «Видавництво Політехніка», 2003.-36 с.

2. Корж В.М. Технологія та обладнання для напилювання: Навчальний посібник. – К; НМЦВО, 2000. – 152с.

3. Білик І.І. Технологія та обладнання напилених покриттів: Навчальний посібник – К. Політехніка 2002. - 101 с.

2 .Корж В.М., Нанесення покриттів: Навчальний посібник /В.М. Корж В.Д. Кузнецов, Ю.С.Борисов, К.А. Ющенко – К.: Арістей 2005.-150с.

## Інформаційні ресурси

1. [www.scincedirect.com](http://www.scincedirect.com)

2. <http://www.tspc.ru>

3. <http://www.dimet.com.ua>

## Навчальний контент

### 1. Методика опанування навчальної дисципліни.

Розділ 1. Лекцій 2, лабораторна робота 1, частина 1.

Лекція 1. Вступ. Загальна характеристика нанопокриттів. Характеристика поверхневих наноструктур на підкладках. Класифікація нанопокриттів. В лекціях приводяться приклади застосування нанопокриттів, та особливості технологій їх нанесення.

Лекція 2. Формування нанокристалічних покриттів. Модель Тронтона Роль енергії в формуванні покриттів. Особливості формування. Технологічні параметри осадження. Розглядають Рівняння Клайперона – Клаузиса, Етапи росту наноплівки. Внутрішні напруження в наноплівках. Вплив іонного бомбардування на формування покриттів

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 ВУ-1Б.

Розділ 2. Лекцій 3, Лабораторна робота 1, частина 2.

Лекція 3. Вплив іонного бомбардування на формування нанопокриттів. Процес змішування парових потоків. Багатошарові покриття з наноструктурою.

Лекція 4. Нанокompозитні нанопокриття. Нанопокриття з високою твердістю. Класифікація по твердості, фазам і розмірам фаз

Лекція 5. Механічні властивості нанокристалічних покриттів. Вплив температури на властивості нанокристалічних покриттів. В лекціях приводять фактори, що впливають на твердість наноструктурних покриттів і способи її

збільшення. Як приклад приводиться структура покриттів нітриду титану в залежності від вмісту кремнію.

Також розглядаються розмір кристалітів і твердість багатокomпонентних покриттів з наноструктурою, а також механічні випробування нанопокриттів - наноіндентування і мікроіндентування. Розяснюється порядок обробки діаграм (навантаження / глибина індентування), а також проводяться розрахунки властивостей покриттів. 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 2, лабораторні роботи 2 частина 1.

Лекція 6. Вплив умов отримання на властивості нанопокриттів. Підготовка поверхні, Ідеальна поверхня. Зародковий механізм утворення. Механізм конденсації. 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 7. Методи контролю властивостей нанопокриттів. Мікрозважування. Наноіндентування. Вимірювання механічних характеристик нанопокриттів. В лекціях розглядають методи дослідження властивостей нанопокриттів. 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. При підготовці до лекцій бажано ознайомитись з способами дослідження покриттів. В лабораторній роботі підготувати кристали солі вирошуванням з пересиченого розчину з допомогою затравки. Вибрати грань кристала придатної для напилювання та завантажити його в установку. Ознайомитися з порядком роботи на установці ВУП-5 та підготувати її до роботи. . Завантажити кристали солі на столик установки і отримати покриття по заданим режимам. Провести підготовку отриманих плівок для подальшого дослідження.

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

Лекція 8 Застосування нанокристалічні покриття в техніці.

Електроніка (резистори, інтегральні схеми, конденсатори, сенсори та ін.) Розмірні ефекти.

Лекція 9. Застосування наноструктур для створення елементів приладів різного призначення. В лекційному матеріалі розглядають нанопокриття для підвищення працездатності ріжучого інструменту, зносостійкості вузлів деталей машин.

Застосування наноструктур для створення елементів приладових мікропристроїв за

допомогою наноштампів для біомедичних застосувань, мікрофотоніки, мікрооптики. В лабораторній роботі проводять дослідження структури отриманих плівок з допомогою електронного мікроскопу РЕМ 106И з відповідним обговоренням отриманих результатів.

## **2. Самостійна робота студентів**

1. Підготовка до аудиторних і лабораторних занять (протягом семестру).
2. Підготовка до модульної контрольної роботи. (після 5 лекцій).
3. Підготовка до заліку.

## **Політика та контроль**

### **1. Політика навчальної дисципліни.**

1. Регулярне відвідування занять. В разі пропуску готувати короткий реферат, або з'явитися на консультацію.

2. Захист лабораторних робіт проводиться в усній формі при оформленні протокола відповідно вимогам до їх виконання.

2. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання

*Поточний контроль:* експрес-опитування, результати МКР.

*Календарний контроль:* Результати захисту лабораторних робіт.

*Семестровий контроль:* залік, допуск – виконання і захист лабораторних робіт, позитивний результат МКР (семестровий рейтинг більше 60 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

## **2. Перелік питань, що виносяться на залік.**

1. Особливості формування наноструктурованих покриттів.
2. Характеристика основних технологічних процесів, які визначають властивості структури.
3. Застосування функціональних нанопокриттів в електронній техніці.

4. Характеристика і властивості матеріалів для створення плівкових нанопокриттів для виготовлення резисторів, конденсаторів, датчиків різних систем і мікросхем різного призначення.

5. Застосування нано покриттів для підвищення зносостійкості різальних інструментів та інших захистних покриттів.

6. Вплив умов отримання (вакуумне та газо фазне напилювання) на властивості нано покриттів.

7. Особливості утворення зародків та механізм їх росту.

8. Вплив технологічних операцій на параметри нанопокриттів.

9. Рівняння Клайперона Клаузіуса, правило Трoutона.

10. Застосування нанопокриттів для виготовлення мікроінструментів.

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

**Складено** доцент, к.т.н., доцент, Білик Ігор Іванович ПІБ

**Ухвалено** кафедрою \_\_\_\_\_ (протокол № \_\_\_ від \_\_\_\_\_)

**Погоджено** Методичною комісією факультету<sup>1</sup> (протокол № \_\_ від \_\_\_\_\_)

---