

Міністерство освіти і науки України

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Проректор з наукової роботи  
  
В. В. Павліков  
(підпис) (ініціали та прізвище)  
2020 р.  
Відділ аспірантури і докторантури

**РОБОЧА ПРОГРАМА  
ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**«Моделювання процесів нанесення покриттів, нанопокриттів,  
та одержання модифікованих зміцнених шарів»**  
(назва навчальної дисципліни)

Галузі знань: \_\_\_\_\_ 13 «Механічна інженерія» \_\_\_\_\_  
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність \_\_\_\_\_ 132 «Матеріалознавство» \_\_\_\_\_  
(код та найменування напряму підготовки)

Освітньо-наукова програма: «Матеріалознавство»

**Форма навчання: денна**

**Рівень вищої освіти: третій (освітньо-науковий)**

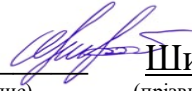
**Харків 2020 рік**

**РОБОЧА ПРОГРАМА  
ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

«Моделювання процесів нанесення покриттів, нанопокриттів,  
та одержання модифікованих зміцнених шарів»  
(назва дисципліни)

для здобувачів за спеціальністю 132 «Матеріалознавство»  
освітньо-науковою програмою «Матеріалознавство»  
« 20 » 06 2020 р., – 13 с.

Розробник: зав каф. 202 , д.т.н., професор  Баранов О.О.  
(посада, науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (прізвище та ініціали)

Гарант ОНП доцент каф. 202 , к.т.н., доцент  Широкий Ю.В.  
(посада, науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (прізвище та ініціали)

Протокол № 10 від «25» 06 2020 р. засідання кафедри № 202

Завідувач кафедри д.т.н., професор  О.О. Баранов  
(посада, науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (прізвище та ініціали)

ПОГОДЖЕНО:

Завідувач відділу  
аспірантури і докторантури  
(наукова ступінь та вчене звання)

 В. Б. Селевко  
(підпис) (ініціали та прізвище)

Голова наукового товариства  
студентів, аспірантів,  
докторантів і молодих вчених  
(наукова ступінь та вчене звання)

 Т. П. Старовойт  
(підпис) (ініціали та прізвище)

## 1. Опис навчальної дисципліни

| Найменування показників                                                                                  | Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Кількість кредитів – 7,5                                                                                 | <b>Галузь знань</b><br><b><u>13 «Механічна інженерія»</u></b><br>(шифр та найменування)<br><br><b>Спеціальність</b><br><b><u>132 «Матеріалознавство»</u></b><br>(код та найменування)<br><br><b>Освітньо-наукова програма</b><br><b><u>«Матеріалознавство»</u></b><br>(найменування)<br><br><b>Рівень вищої освіти:</b><br>третій (освітньо-науковий) | Вибіркова                                                   |
| Кількість модулів – 1                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Навчальний рік</b>                                       |
| Кількість змістовних модулів – 2                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 2020/2021                                                   |
| Індивідуальне завдання<br>(назва)                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Семестр</b>                                              |
| Загальна кількість годин – 225                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 4-й                                                         |
|                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Лекції <sup>1)</sup></b>                                 |
| Кількість тижневих годин для денної форми навчання:<br>аудиторних – 5<br>самостійної роботи здобувача –9 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 51 годин                                                    |
|                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Практичні, семінарські<sup>1)</sup></b>                  |
|                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 32                                                          |
|                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Лабораторні <sup>1)</sup></b>                            |
|                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | -                                                           |
|                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Самостійна робота</b>                                    |
|                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 142 годин                                                   |
|                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Вид контролю</b>                                         |
|                                                                                                          | модульний контроль іспит                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                             |

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить: 80/142.

<sup>1)</sup> Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину в залежності від розкладу занять.

## **2. Мета та завдання навчальної дисципліни**

**Мета:** засвоєння основних положень щодо процесів нанесення покриттів та нанопокриттів, застосування на практиці знань одержання модифікованих зміцнюючих покриттів.

**Завдання:** вивчення основних технологічних процесів одержання модифікованих зміцнюючих покриттів..

**Результати навчання:** у результаті вивчення дисципліни аспірант повинен оволодіти наступними компетенціями

### **Загальними:**

ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу

ЗК02. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК04. Здатність розробляти проекти та управляти ними.

### **Фаховими:**

СК01. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у технічній науці та дотичних до неї (нього, них) міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з технічних наук та суміжних галузей.

СК02. Здатність усно і письмово презентувати та обговорювати результати наукових досліджень та/або інноваційних розробок українською та іноземною мовами, глибоке розуміння іншомовних наукових текстів за напрямом досліджень.

СК05. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру у науковому пізнанні, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

СК06. Здатність ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти в технічній науці та дотичні до неї міждисциплінарні проекти, з метою їх представлення на міжнародних конференціях, симпозіумах.

СК07. Здатність дотримуватись етики досліджень, а також правил академічної доброчесності в наукових дослідженнях та науково-педагогічній діяльності.

СК09 Здатність до продукування нових ідей і розв'язання комплексних проблем наукового пізнання, а також до застосування сучасних методологій, методів та інструментів педагогічної та наукової діяльності в технічних науках.

### **Програмні результати навчання:**

ПРН01. Мати передові концептуальні та методологічні знання з технічних наук і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідної галузі, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

ПРН02. Уміти вільно презентувати та обговорювати з фахівцями і нефахівцями

результати досліджень, наукові та прикладні проблеми технічної науки державною та іноземною мовами, кваліфіковано відображати результати досліджень у наукових публікаціях у провідних міжнародних наукових виданнях.

ПРН03. Уміти формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень (опитувань, спостережень) і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані.

ПРН04. Уміти розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у технічній науці та дотичних міждисциплінарних напрямках.

ПРН05. Уміти планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з технічних наук та дотичних міждисциплінарних напрямків з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

ПРН06. Уміти застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи.

ПРН08. Має розуміти загальні принципи та методи технічних наук, а також методологію наукових досліджень, застосувати їх у власних дослідженнях у сфері технічних наук та у викладацькій практиці.

ПРН09. Вивчати, узагальнювати та впроваджувати в навчальний процес інновації технічних наук.

ПРН10. Здійснювати пошук та критичний аналіз інформації, концептуалізацію та реалізацію наукових проектів з технічних наук.

ПРН12. Знати сучасні підходи та засоби моделювання досліджуваних об'єктів та процесів управління, в тому числі в аерокосмічній галузі, вміти створювати нові, вдосконалювати та розвивати методи математичного і комп'ютерного моделювання складних систем, оптимізації та прийняття рішень

Вивчення курсу «Моделювання процесів нанесення покриттів, нанопокриттів, та одержання модифікованих зміцнених шарів» базується на загальних знаннях з дисципліни «ІТ в практиці наукових досліджень», «Процеси механічної та фізико-технічної обробки» та є базою для написання наукової роботи.

### **3. Програма навчальної дисципліни**

#### **Змістовий модуль 1. Статистична термодинаміка.**

**Тема 1. Простіша модель системи, що дозволяє точний математичний опис.** Квантові стани. Стани модельної системи. Підрахунок станів. Ступінь виродження. Різкий максимум.

**Тема 2. Основне припущення статистичної термодинаміки.** Замкнута система. Допустимий стан. Ймовірність. Середнє за ансамблем. Рівні ймовірності.

**Тема 3. Дві системи в тепловому контакті.** Обмін енергією та найбільш ймовірна конфігурація. Визначення ентропії. Третій закон термодинаміки. Температура. Прагнення ентропії до зростання. Адитивність ентропії. Число припустимих станів у разі безперервного розподілу енергетичних рівнів. Другий закон термодинаміки.

**Тема 4. Дві системи в дифузійному контакті. Хімічний потенціал.** Визначення хімічного потенціалу.

**Тема 5. Фактор Гіббса та фактор Больцмана.** Системи та резервуари. Фактор Гіббса. Велика сума. Статистична сума.

**Тема 6. Тиск та термодинамічна тотожність.** Тиск та ентропія. Термодинамічна тотожність. Тепло. Незворотні процеси. Тепло та робота при фіксованій кількості часток. Отримання термодинамічних співвідношень.

**Тема 7. Одноатомний ідеальний газ.** Класичний режим. Хімічний потенціал. Енергія. Ентропія. Тиск. Теплоємність. Флуктуації числа часток та енергії. Хімічний потенціал у силовому полі. Хімічний потенціал ідеального газу із внутрішніми ступенями свободи.

**Тема 8. Кінетична теорія газів.** Розподіл Максвелла по швидкостям. Ефективні перетини зіткнень та середня довжина вільного перебігу. Процеси переносу. Дифузія. В'язкість.

**Тема 9. Функція розподілу Планка для фотонів.** Розподіл фотонів. Густина фотонних мод. Закон випромінювання Планка.

**Тема 10. Фонони в твердих тілах. Теорія Дебая.** Кількість фононних орбіталей. Закон Дебая.

**Тема 11. Рівняння для тиску пару.** Ізотерми. Фазова рівновага. Вивід рівняння для кривої співіснування.

**Тема 12. Рівновага в реакціях.** Адсорбція атомів вузлами. Ізотерма Ленгмюра. Загальна теорія рівноваги в реакціях. Рівновага для ідеальних газів. Закон діючих мас. Змінення стандартної вільної енергії.

### **Модульний контроль 1.**

**Змістовий модуль 2.** Плазма і фізико-хімічні основи створення поверхневих шарів та наноструктур.

**Тема 13. Вступ до фізики плазми. Рух окремих часток в плазмі.** Визначення плазми. Дебаївське екранування. Критерії існування плазми. Рух окремих часток у постійних електричних та магнітних полях. Неоднорідні електричні та магнітні поля. Нестационарні електричні та магнітні поля.

**Тема 14. Плазма як рідина.** Гідродинамічні рівняння. Дрейф рідини перпендикулярно та паралельно магнітному полю. Плазмове наближення.

**Тема 15. Дифузія та спротив у плазмі.** Дифузія та спротив у слабоіонізованих газах. Розпад плазми внаслідок дифузії. Стационарні рішення. Рекомбінація. Дифузія поперек магнітного поля. Дифузія Бома і неокласична дифузія.

**Тема 16. Шари в плазмі.** Базові концепції та рівняння. Критерій Бома для формування шару. Високовольтний шар. Узагальнений критерій для формування шару.

**Тема 17. Фізико-хімічні основи дифузійних процесів.** Закони дифузії. Методи рішення рівняння дифузії. Вплив температури на коефіцієнт дифузії. Вплив концентрації домішок. Вплив дефектів кристалічної решітки.

**Тема 18. Фізико-хімічні основи отримання плівок методами термовакuumного випаровування.** Термодинаміка та кінетика процесів випаровування. Склад плівки при випаровуванні сплавів.

**Тема 19. Фізико-хімічні основи іонно-плазмових процесів отримання плівок.** Отримання плівок іонно-плазмовим розпиленням. Магнетронне розпилення. Осадження покриттів методами вакуумно-дугового випаровування.

**Тема 20. Фізико-хімічні основи іонно-плазмового і плазмохімічного травлення.** Принципи та основні характеристики іонно-плазмового травлення. Плазмохімічне травлення.

**Тема 21. Фізико-хімічні основи іонної імплантації.** Загальні поняття. Розподіл пробігу імплантованих іонів в твердому тілі. Утворення та отжиг радіаційних дефектів.

**Тема 22. Балістична модель розпилення поверхні та формування модифікованого шару матеріалу.** Взаємодія іонів з мішенню. Коефіцієнт розпилення. Формування та викид вакансій та дислокацій. Ефект далекодії.

**Тема 23. Кінетична модель осадження покриттів з парової та плазмової фази.** Осадження реагентів. Формування острівкової фази. Коалесценція. Формування та зростання сплошного покриття.

**Тема 24. Дифузійна модель формування одно- та двовимірних оксидних та вуглецевих наноструктур на поверхні матеріалів.** Адсорбція компонентів з плазмо-газової фази. Дифузія компонентів і формування поверхневих шарів. Формування одновимірних наноструктур. Двовимірні наноструктури.

**Модульний контроль 2.**

#### 4. Структура навчальної дисципліни

| Назви змістових модулів і тем                                                 | Кількість годин |              |         |        |        |        |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|---------|--------|--------|--------|
|                                                                               | денна форма     |              |         |        |        |        |
|                                                                               | усього          | у тому числі |         |        |        |        |
|                                                                               |                 | лекції       | прак.р. | лаб.р. | інд.р. | сам.р. |
| 1                                                                             | 2               | 3            | 4       | 5      | 6      | 7      |
| <b>Модуль 1</b>                                                               |                 |              |         |        |        |        |
| <b>Змістовий модуль 1. Множина, матриці та графи</b>                          |                 |              |         |        |        |        |
| <b>Тема 1. Простіша модель системи, що дозволяє точний математичний опис.</b> | 11              | 4            | 1       | –      | –      | 6      |
| <b>Тема 2. Основне припущення статистичної термодинаміки.</b>                 | 9               | 2            | 1       | –      | –      | 6      |
| <b>Тема 3. Дві системи в тепловому контакті.</b>                              | 9               | 2            | 1       | –      | –      | 6      |
| <b>Тема 4. Дві системи в дифузійному контакті.</b>                            | 9               | 2            | 1       | –      | –      | 6      |
| <b>Тема 5. Фактор Гіббса та фактор Больцмана.</b>                             | 9               | 2            | 1       | –      | –      | 6      |
| <b>Тема 6. Тиск та термодинамічна тотожність.</b>                             | 9               | 2            | 1       | –      | –      | 6      |
| <b>Тема 7. Одноатомний ідеальний газ.</b>                                     | 9               | 2            | 2       | –      | –      | 5      |
| <b>Тема 8. Кінетична теорія газів.</b>                                        | 9               | 2            | 2       | –      | –      | 5      |
| <b>Тема 9. Функція розподілу Планка для фотонів.</b>                          | 9               | 2            | 2       | –      | –      | 5      |
| <b>Тема 10. Фонони в твердих тілах. Теорія Дебая.</b>                         | 9               | 2            | 2       | –      | –      | 5      |

|                                                                                                                              |     |    |    |   |   |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----|----|---|---|-----|
| <b>Тема 11. Рівняння для тиску пару.</b>                                                                                     | 8   | 2  | 1  | – | – | 5   |
| <b>Тема 12.Рівновага в реакціях.</b>                                                                                         | 8   | 2  | 1  | – | – | 5   |
| Модульний контроль 1                                                                                                         | 2   | –  | –  | – | – | 2   |
| Разом за змістовим модулем 1                                                                                                 | 110 | 26 | 16 | – | – | 68  |
| <b>Змістовий модуль 2. Математична логіка</b>                                                                                |     |    |    |   |   |     |
| <b>Тема 13. Вступ до фізики плазми.Рух окремих часток в плазмі.</b>                                                          | 10  | 2  | 2  | – | – | 6   |
| <b>Тема 14.Плазма як рідина.</b>                                                                                             | 9   | 2  | 1  | – | – | 6   |
| <b>Тема 15.Дифузія та спротив у плазмі.</b>                                                                                  | 9   | 2  | 1  | – | – | 6   |
| <b>Тема 16. Шари в плазмі.</b>                                                                                               | 9   | 2  | 1  | – | – | 6   |
| <b>Тема 17. Фізико-хімічні основи дифузійних процесів.</b>                                                                   | 9   | 2  | 1  | – | – | 6   |
| <b>Тема 18. Фізико-хімічні основи отримання плівок методами термовакuumного випаровування.</b>                               | 8   | 2  | 1  | – | – | 5   |
| <b>Тема 19.Фізико-хімічні основи іонно-плазмових процесів отримання плівок.</b>                                              | 9   | 2  | 1  | – | – | 6   |
| <b>Тема 20.Фізико-хімічні основи іонно-плазмового і плазмохімічного травлення.</b>                                           | 9   | 2  | 1  | – | – | 6   |
| <b>Тема 21. Фізико-хімічні основи іонної імплантації.</b>                                                                    | 9   | 2  | 1  | – | – | 6   |
| <b>Тема 22. Балістична модель розпилення поверхні та формування модифікованого шару матеріалу.</b>                           | 10  | 2  | 2  | – | – | 6   |
| <b>Тема 23. Кінетична модель осадження покриттів з парової та плазмової фази.</b>                                            | 10  | 2  | 2  | – | – | 6   |
| <b>Тема 24. Дифузійна модель формування одно- та двовимірних оксидних та вуглецевих наноструктур на поверхні матеріалів.</b> | 10  | 4  | 2  | – | – | 6   |
| Модульний контроль 2                                                                                                         | 2   | –  | –  | – | – | 2   |
| Разом за змістовим модулем 2                                                                                                 | 115 | 26 | 16 | – | – | 73  |
| Усього годин                                                                                                                 | 225 | 52 | 32 | – | – | 141 |

## 5. Теми семінарських занять

| № з/п | Назва теми     | Кількість годин |
|-------|----------------|-----------------|
| 1     | Не передбачено | -               |

## 6. Теми практичних занять

| № з/п | Назва теми                                                                                                   | Кільк.Год. |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1     | Простіша модель системи, що дозволяє точний математичний опис.                                               | 1          |
| 2     | Основне припущення статистичної термодинаміки.                                                               | 1          |
| 3     | Дві системи в тепловому контакті.                                                                            | 1          |
| 4     | Дві системи в дифузійному контакті.                                                                          | 1          |
| 5     | Фактор Гіббса та фактор Больцмана.                                                                           | 1          |
| 6     | Тиск та термодинамічна тотожність.                                                                           | 1          |
| 7     | Одноатомний ідеальний газ.                                                                                   | 2          |
| 8     | Кінетична теорія газів.                                                                                      | 2          |
| 9     | Функція розподілу Планка для фотонів.                                                                        | 2          |
| 10    | Фонони в твердих тілах. Теорія Дебая.                                                                        | 2          |
| 11    | Рівняння для тиску пару.                                                                                     | 1          |
| 12    | Рівновага в реакціях.                                                                                        | 1          |
| 13    | Вступ до фізики плазми. Рух окремих часток в плазмі.                                                         | 2          |
| 14    | Плазма як рідина.                                                                                            | 1          |
| 15    | Дифузія та спротив у плазмі.                                                                                 | 1          |
| 16    | Шари в плазмі.                                                                                               | 1          |
| 17    | Фізико-хімічні основи дифузійних процесів.                                                                   | 1          |
| 18    | Фізико-хімічні основи отримання плівок методами термовакuumного випаровування.                               | 1          |
| 19    | Фізико-хімічні основи іонно-плазмових процесів отримання плівок.                                             | 1          |
| 20    | Фізико-хімічні основи іонно-плазмового і плазмохімічного травлення.                                          | 1          |
| 21    | Фізико-хімічні основи іонної імплантації.                                                                    | 1          |
| 22    | Балістична модель розпилення поверхні та формування модифікованого шару матеріалу.                           | 2          |
| 23    | Кінетична модель осадження покриттів з парової та плазмової фази.                                            | 2          |
| 24    | Дифузійна модель формування одно- та двовимірних оксидних та вуглецевих наноструктур на поверхні матеріалів. | 2          |
|       | Разом                                                                                                        | 32         |

## 7. Теми лабораторних занять

| № з/п | Назва теми     | Кількість годин |
|-------|----------------|-----------------|
| 1     | Не передбачено | -               |

## 8. Самостійна робота

| № з/п | Назва теми                                                                                               | Кількість годин |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1     | Енергія спінової модельної системи.                                                                      | 8               |
| 2     | Ймовірність. Середнє за ансамблем. Рівні ймовірності.                                                    | 12              |
| 3     | Число припустимих станів у разі безперервного розподілу енергетичних рівнів. Другий закон термодинаміки. | 12              |
| 4     | Хімічний потенціал.                                                                                      | 12              |
| 5     | Статистична сума.                                                                                        | 12              |
| 6     | Отримання термодинамічних співвідношень.                                                                 | 12              |
| 7     | Хімічний потенціал ідеального газу із внутрішніми ступенями                                              | 12              |

|    |                                                                                                                             |            |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|    | свободи.                                                                                                                    |            |
| 8  | Процеси переносу. Дифузія. В'язкість.                                                                                       | 12         |
| 9  | Закон випромінювання Планка.                                                                                                | 10         |
| 10 | Закон Дебая.                                                                                                                |            |
| 11 | Ізотерми. Фазова рівновага.                                                                                                 | 8          |
| 12 | Ізотерма Ленгмюра. Загальна теорія рівноваги в реакціях.                                                                    | 10         |
| 13 | Критерії існування плазми. Рух окремих часток у постійних електричних та магнітних полях.                                   | 10         |
| 14 | Рівняння магнітної гідродинаміки.                                                                                           | 10         |
| 15 | Дифузія та спротив у слабоіонізованих газах.                                                                                | 10         |
| 16 | Критерій Бома для формування шару у плазмі. Високовольтний шар.                                                             | 10         |
| 17 | Закони дифузії. Методи рішення рівняння дифузії.                                                                            | 10         |
| 18 | Термодинаміка та кінетика процесів випаровування.                                                                           | 10         |
| 19 | Тліючий розряд та катодне розпилення. Магнетронне розпилення. Осадження покриттів методами вакуумно-дугового випаровування. | 10         |
| 20 | Плазмохімічне травлення.                                                                                                    |            |
| 21 | Розподіл пробігу імплантованих іонів в твердому тілі.                                                                       | 8          |
| 22 | Ефект далекодії.                                                                                                            | 10         |
| 23 | Адсорбція та напружено-деформований стан покриттів.                                                                         | 10         |
| 24 | Формування одновимірних та двовимірних наноструктур.                                                                        | 10         |
|    | <b>Разом</b>                                                                                                                | <b>142</b> |

## 9. Індивідуальні завдання

| № з/п | Назва теми     | Кількість годин |
|-------|----------------|-----------------|
|       | Не передбачено |                 |

## 10. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, лабораторних занять, індивідуальні консультації (при необхідності), самостійна робота аспірантів за матеріалами, опублікованими кафедрою (методичні посібники).

## 11. Методи контролю

Проведення контролю виконання практичних завдань, письмового модульного контролю, фінальний контроль – у вигляді іспиту.

## 12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

12.1. Розподіл балів, які отримують аспіранти (кількісні критерії оцінювання)

| Складові навчальної роботи | Бали за одне заняття (завдання) | Кількість занять (завдань) | Сумарна кількість балів |
|----------------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| <b>Змістовний модуль 1</b> |                                 |                            |                         |
| Виконання та захист        | 0...5                           | 12                         | 0...24                  |

|                                      |        |    |                |
|--------------------------------------|--------|----|----------------|
| практичних робіт за темами           |        |    |                |
| Модульний контроль                   | 0...26 | 1  | 0...26         |
| <b>Змістовний модуль 2</b>           |        |    |                |
| Виконання та захист практичних робіт | 0...5  | 12 | 0...24         |
| Модульний контроль                   | 0...26 | 1  | 0...26         |
| <b>Всього за семестр</b>             |        |    | <b>0...100</b> |

Семестровий контроль (іспит) проводиться у разі відмови аспіранта від балів поточного тестування та за наявності допуску до іспиту/заліку. При складанні семестрового іспиту аспірант має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для заліку складається з двох теоретичних запитань та двох задач.

## 12.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

Здати модульний контроль.

Необхідний обсяг умінь для одержання позитивної оцінки:

Зробити завдання

## 12.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

**Задовільно (60-74).** Мати мінімум знань та умінь. Виконати більшість завдання. Мати уяву про закони термодинаміки, термодинамічні співвідношення, про фактори Гіббса та Больцмана, про механізми адсорбції, дифузії, випаровування, розпилення, про використання плазми в техніці, технології формування поверхневих шарів, росту покриттів, іонної імплантації та модифікації поверхні; вміти знімати вольт-амперні характеристики електричного розряду; мати уяву про методи генерації плазми, тліючий розряд полий катод, катодне розпилення, дуговий розряд, стаціонарний магнетронний розряд.

**Добре (75 - 89).** Твердо знати мінімум знань, виконати всі завдання. Вміти розрахувати швидкість процесів дифузії, розпилення, росту покриття, травлення, профілі імплантації; мати уяву про методи генерації плазми, полий катод, катодне розпилення, дуговий розряд, стаціонарний магнетронний розряд, конструкції магнетронів, конструкції вакуумних дугових джерел плазми.

**Відмінно (90 - 100).** Повно знати основний та додатковий матеріал. Знати усі теми. Орієнтуватися у підручниках та посібниках. Знати все про поширеність плазми у природі та загальний обрис її використання в техніці, основні етапи розвитку вакуумної техніки; володіти методами генерації тліючого розряду, застосовувати полий катод, катодне розпилення, дуговий розряд, стаціонарний магнетронний розряд, проектувати конструкції магнетронів, вакуумних дугових джерел плазми, знати етапи формування зміцнюючих шарів, утворення

хімічних з'єднань, механізми адсорбції, дифузії, утворення поверхневих структур різної вимірності.

### Шкала оцінювання: бальна і традиційна

| Сума балів | Оцінка за традиційною шкалою  |               |
|------------|-------------------------------|---------------|
|            | Іспит, диференційований залік | Залік         |
| 90 – 100   | Відмінно                      | Зараховано    |
| 75 – 89    | Добре                         |               |
| 60 – 74    | Задовільно                    |               |
| 0 – 59     | Незадовільно                  | Не зараховано |

### 3. Методичне забезпечення

1. Kittel, C. Thermalphysics / C. Kittel, H. Kroemer. – NewYork: W. H. FreemanandCo. – 1980. – 475 p.

[https://drive.google.com/file/d/1RN0\\_9bo18NmvDkfF\\_msPLYD4zv70umix/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1RN0_9bo18NmvDkfF_msPLYD4zv70umix/view?usp=sharing)

<https://drive.google.com/file/d/1azMcKxzOngfxgw9VZfleu0cyIMOIr4AR/view?usp=sharing>

2. Chen, F. F. IntroductiontoPlasmaPhysicsandControlledFusion / F. F. Chen. – NewYork: PlenumPress. – 1984. – 421 p.

[https://drive.google.com/file/d/1\\_FWFk8iZtggH84pm\\_Hi\\_Cra0PpnIoEM/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1_FWFk8iZtggH84pm_Hi_Cra0PpnIoEM/view?usp=sharing)

[https://drive.google.com/file/d/1OHZN7\\_xKDCfRK24439sjM4GSUDfEdm7K/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1OHZN7_xKDCfRK24439sjM4GSUDfEdm7K/view?usp=sharing)

3. Lieberman, M. A. PrinciplesofPlasmaDischargesforMaterialsProcessing / M. A. Lieberman, A. J. Lichtenberg. – NewYork: WileyInterscience. – 2005. – 757 p.

[https://drive.google.com/file/d/1pp6tw-b1OJfEoY\\_HwhxICVG5NPoLmWeV/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1pp6tw-b1OJfEoY_HwhxICVG5NPoLmWeV/view?usp=sharing)

4. Физико-химические процессы в технологии РЭА : учеб. для вузов по спец. "Конструирование и пр-во РЭА" / В. Н. Черняев. - М. - Высшая школа, 1987. - 376 с. :ил.

<https://drive.google.com/file/d/1fLYNe3OB7rF0qrbaK6iMggs0wrdsPHTB/view?usp=sharing>

5. Воробйов Ю.А., Сисоєв Ю.О. Правила оформлення навчальних і науково-дослідних документів. – 4-те вид., випр. і доп. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2019. – 88 с.

[http://library.khai.edu/library/fulltexts/metod/Vorobjov\\_Pravila.pdf](http://library.khai.edu/library/fulltexts/metod/Vorobjov_Pravila.pdf)

### 14. Рекомендована література

#### Базова

1. F. F. Chen and J. P. Chang, Lecture Notes on Principles of PlasmaProcessing (Plenum/Kluwer Publishers, New York, 2002).

<https://www.springer.com/gp/book/9780306474972>

2. A. Fridman. Plasma Chemistry. Cambridge university press, New York, 2008. – 1022 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511546075>
3. O. O. Baranov, I. Levchenko, S. Xu, K. Bazaka, “Advanced concepts and architectures for plasma-enabled material processing” // Synthesis lectures on emerging engineering technologies. – Morgan & Claypool Publishers. – San Rafael, USA. – 2020. – P. 1-90. ISBN 9781681739113. <https://doi.org/10.2200/S01042ED1V01Y202008EET011>

### Допоміжна

1. O. Baranov, K. Bazaka, H. Kersten, M. Keidar, U. Cvelbar, S. Xu, “Plasma under control: Advanced solutions and perspectives for plasma flux management in material treatment and nanosynthesis”, *Applied Physics Reviews* 4, 041302 (2017). <https://doi.org/10.1063/1.5007869>
2. O. Baranov, S. Xu, K. Ostrikov, B. B. Wang, U. Cvelbar, K. Bazaka, I. Levchenko, “Towards universal plasma-enabled platform for the advanced nanofabrication: plasma physics level approach”, *Review of Modern Plasma Physics* 2 (4), 1–49 (2018). <https://doi.org/10.1007/s41614-018-0016-7>
3. O. Baranov, G. Filipič and U. Cvelbar, “Towards a highly-controllable synthesis of copper oxide nanowires in radio-frequency reactive plasma: fast saturation at the targeted size”, *Plasma Sources Science and Technology* 2019, 28 084002. <https://doi.org/10.1088/1361-6595/aae12e>
4. O. Baranov, I. Levchenko, S. Xu, J. W. M. Lim, U. Cvelbar and K. Bazaka, “Formation of vertically oriented graphenes: what are the key drivers of growth?”, *2D Materials* 5 044002 (2018). <https://doi.org/10.1088/2053-1583/aad2bc>

### 15. Інформаційні ресурси

<https://education.khai.edu/departament/202>  
<https://k202.tilda.ws/>