

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
материаловедения и индустрии наносистем  
Академик РАН

  
В.М. Иевлев  
*подпись, расшифровка подписи*

25.06.2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.ДВ.04.02 Контроль качества PVD-покрытий**

- 1. Код и наименование направления подготовки/специальности:** 04.03.02 Химия, физика и механика материалов
- 2. Профиль подготовки/специализация:** материаловедение и индустрия наносистем
- 3. Квалификация выпускника:** бакалавр
- 4. Форма обучения:** очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** кафедра материаловедения и индустрии наносистем
- 6. Составители программы:** Кострюков Виктор Федорович, доктор химических наук, доцент
- 7. Рекомендована:** научно-методическим советом химического факультета, протокол №5 от 17.06.2021

---

*отметки о продлении вносятся вручную)*

---

**8. Учебный год:** 2023-2024

**Семестр(ы):** 6

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Цель: изучение основ вакуумных PVD-покрытий и основных технологий и методов их нанесения

Задачи: получение теоретических навыков и компетенций в области существующих и перспективных технологий создания PVD-покрытий; анализ новых областей использования PVD-покрытий, освоение основ моделирования процессов создания PVD-покрытий

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Б1. Часть, формируемая участниками образовательных отношений.

Для успешного освоения данной дисциплины, студент должен предварительно изучить следующие дисциплины: Математика; Физика; Общая и неорганическая химия. Данная дисциплина является предшествующей для следующих дисциплин: наноматериалы, нанотехнологии.

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-4	Способен проводить анализ сырья и компонентов, аттестацию производимых материалов по структуре и свойствам	ПК-4.1	Выполняет стандартные технологические операции для характеристики сырья, промежуточной и конечной продукции производства материалов	знать: стандартные технологические операции для характеристики сырья, промежуточной и конечной продукции производства PVD-покрытий; уметь: выполнять стандартные технологические операции для характеристики сырья, промежуточной и конечной продукции производства PVD-покрытий; владеть: навыками выполнения стандартных технологических операций для характеристики сырья, промежуточной и конечной продукции производства PVD-покрытий;.
		ПК-4.2	Составляет протоколы аттестации материалов и отчеты о выполненной работе в соответствии с заданной формой	знать: основные требования, предъявляемые к протоколам аттестации материалов и отчетам о выполненной работе; уметь: протоколы аттестации материалов и отчеты о выполненной работе в соответствии с заданной формой; владеть: навыками составления протоколов аттестации материалов и отчетов о выполненной работе;.
ПК-5	Способен выбирать технические средства и методы испытаний материалов для решения технологических задач, поставленных специалистом более высокой квалификации	ПК-5.1	Выбирает технические средства и методы испытаний	знать: технические средства и методы испытаний PVD-покрытий; уметь: применять технические средства и методы испытаний PVD-покрытий; владеть: навыками использования технических средства и методов испытания PVD-покрытий;.
		ПК-5.2	Подготавливает объекты испытаний и	знать: основные требования к подготовке PVD-покрытий к испытаниям; уметь: подготавливать PVD-покрытий к

			соответствующее оборудование	испытаниям с использованием соответствующего оборудования; владеть: навыками подготовки PVD-покрытий к испытаниям;.
		ПК-5.3	Оформляет необходимую документацию в соответствии с имеющимися требованиями	знать: основные требования к оформлению документации по итогам испытаний PVD-покрытий; уметь: подготавливать документацию по итогам испытаний PVD-покрытий; владеть: навыками подготовки документации по итогам испытаний PVD-покрытий;

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 3/72

Форма промежуточной аттестации – зачет.

## 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость			
		Всего	По семестрам		
			№ семестра	№ семестра 3	...
Контактная работа					
в том числе:	лекции	36		36	
	практические	36		36	
	лабораторные				
	курсовая работа				
Самостоятельная работа		36		36	
Промежуточная аттестация					
Итого:		108		108	

### 13.1. Содержание дисциплины

№ п / п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
<b>1. Лекции</b>			
1	Введение в курс. Классификация вакуумных покрытий	Требования, предъявляемые к поверхности. Классификация покрытий. Основные методы нанесения неорганических покрытий. Схема процессов и основные параметры магнетронного, вакуумтермического и газотермического нанесения покрытий. Методы вакуумного напыления и их классификация. Основные общие параметры напыления и их влияние на эффективность процесса. Способы и технологические особенности отдельных видов напыления. Функциональные схемы установок для вакуумного напыления. Общие требования, предъявляемые к установкам. Распылительные и вакуумные устройства установок для напыления. Энергопитание установок для напыления. Механизмы подачи материала. Обзор установок	-

		для различных видов напыления.	
2	Технологии формирования слоев нанометровой толщины в вакууме	Методы вакуумного конденсационного напыления и их классификация. Основные общие параметры вакуумного конденсационного напыления и их влияние на эффективность процесса. Способы и технологические особенности вакуумного конденсационного напыления покрытий термическим испарением. Способы и технологические особенности вакуумного конденсационного напыления покрытий взрывным, реакционным и ионным распылением материалов. Методы нанесения покрытий, близкие к вакуумному осаждению. Принципы работы основных систем установок для вакуумного напыления покрытий. Получение различного вида вакуума в промышленности. Влияние технологических параметров вакуума на качество покрытий.	-
3	Разработка технологических процессов (ТП) и исследование вакуумных PVD-покрытий	Выбор 2D-покрытий. Выбор состава покрытия и его толщины. Применение промежуточных слоев. Выбор методов и способов напыления 2D-покрытий. Напыление чистых металлов. Напыление металлических сплавов. Напыление соединений металлического типа и сплавов на их основе. Выбор 3D-покрытий. Выбор состава покрытия и его толщины. Применение промежуточных слоев. Выбор методов и способов напыления 3D-покрытий. Напыление чистых металлов. Напыление металлических сплавов. Напыление соединений металлического типа и сплавов на их основе. Контроль напыленных покрытий. Анализ физико*механических свойств покрытий. Анализ толщины, химического состава и структуры PVD-покрытий.	
<b>2. Практические занятия</b>			
1	Введение в курс. Классификация вакуумных покрытий	Требования, предъявляемые к поверхности. Классификация покрытий. Основные методы нанесения неорганических покрытий. Схема процессов и основные параметры магнетронного, вакуумтермического и газотермического нанесения покрытий. Методы вакуумного напыления и их классификация. Основные общие параметры напыления и их влияние на эффективность процесса. Способы и технологические особенности отдельных видов напыления. Функциональные схемы установок для вакуумного напыления. Общие требования, предъявляемые к установкам. Распылительные и вакуумные устройства установок для напыления. Энергопитание установок для напыления. Механизмы подачи материала. Обзор установок для различных видов напыления.	-
2	Технологии формирования слоев нанометровой толщины в вакууме	Методы вакуумного конденсационного напыления и их классификация. Основные общие параметры вакуумного конденсационного напыления и их влияние на эффективность процесса. Способы и технологические особенности вакуумного конденсационного напыления покрытий термическим испарением. Способы и технологические особенности вакуумного конденсационного напыления покрытий взрывным, реакционным и ионным распылением материалов. Методы нанесения покрытий, близкие к вакуумному осаждению. Принципы работы основных систем установок для вакуумного напыления покрытий. Получение различного вида вакуума в промышленности. Влияние технологических параметров вакуума на качество покрытий.	-
3	Разработка технологических процессов (ТП) и исследование вакуумных PVD-покрытий	Выбор 2D-покрытий. Выбор состава покрытия и его толщины. Применение промежуточных слоев. Выбор методов и способов напыления 2D-покрытий. Напыление чистых металлов. Напыление металлических сплавов. Напыление соединений металлического типа и сплавов на их основе. Выбор 3D-покрытий. Выбор состава покрытия и его толщины. Применение промежуточных слоев. Выбор методов и способов	

	напыления 3D-покрытий. Напыление чистых металлов. Напыление металлических сплавов. Напыление соединений металлидного типа и сплавов на их основе. Контроль напыленных покрытий. Анализ физико*механических свойств покрытий. Анализ толщины, химического состава и структуры PVD-покрытий.	
--	--	--

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Введение в курс. Классификация вакуумных покрытий	6	6		6	18
2	Технологии формирования слоев нанометровой толщины в вакууме	12	12		12	36
3	Разработка технологических процессов (ТП) и исследование вакуумных PVD-покрытий	18	18		18	54
Итого:		36	36		36	108

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для успешного освоения дисциплины, необходимо

- изучение основных и дополнительных литературных источников;
- подготовка рефератов с целью более детального изучения вопросов, рассматриваемых на лекциях;
- текущий контроль успеваемости в форме устного опроса.

### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Морозов В.В., Сысоев Э.П. Нанотехнологии в керамике. Часть 1. / В.В. Морозов , Э.П. Сысоев - Владимир, 2010. - 276с.
2	Морозов В.В., Сысоев Э.П. Нанотехнологии в керамике. Часть 2. / В.В. Морозов , Э.П. Сысоев - Владимир, 2010. - 167с.
3	Неволин В.К. Зондовые технологии в электронике / В.К. Неволин - М.: Техносфера, 2014, - 176 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	Балоян Б.М., Колмаков А.Г., Алымов М.И., Кротов А.М. Наноматериалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения: – М.: 2007. – 125 с.
5	Технология тонких пленок. Под. Ред. Л. Майссела. - М. Советское радио, 1977. - 768с.
6	Кобаяси, Н. Введение в нанотехнологию / Н. Кобаяси ; пер. с яп. А. В. Хачояна ; под ред. проф. Л. Н. Патрикеева. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 134 с
7	Физические методы анализа материалов / Ю. К. Машков [и др.]. – Омск : Изд-во СиБАДИ, 2003. – 112 с.
8	Палатник Л.С., Папиоров И. Н Эпитаксиальные пленки / Л. С. Палатник, И. Н. Папиоров . – М. : Наука, 1971 . – 480 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Источник
7	<a href="http://www.elibrary.ru">http://www.elibrary.ru</a> – научная электронная библиотека.

**16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы**

№ п/п	Источник

**17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):**

Проведение текущей аттестации и самостоятельной работы по отдельным разделам дисциплины.

**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Ноутбук, мультимедийный проектор, экран

**19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций**

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Введение в курс. Классификация вакуумных покрытий	ПК-4 ПК-5	ПК-4.1 ПК-4.2 ПК-5.1 ПК-5.2 ПК-5.3	Реферат
2.	Технологии формирования слоев нанометровой толщины в вакууме	ПК-4 ПК-5	ПК-4.1 ПК-4.2 ПК-5.1 ПК-5.2 ПК-5.3	Реферат
3.	Разработка технологических процессов (ТП) и исследование вакуумных PVD-покрытий	ПК-4 ПК-5	ПК-4.1 ПК-4.2 ПК-5.1 ПК-5.2 ПК-5.3	Реферат
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет				Перечень вопросов

**20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания****20.1 Текущий контроль успеваемости**

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

## Темы рефератов:

1. Основные понятия кинетической теории разреженных газов. Распределение молекул по скоростям.
2. Давление газа с точки зрения МКТ.
3. Кинетические характеристики молекулярного движения. Распределение молекул по длинам свободного пробега.
4. Процессы переноса в газах. Общее уравнение переноса.
5. Теплопроводность газов.
6. Нестационарная диффузия. Взаимная диффузия и самодиффузия.
7. Явления переноса при низком давлении. Эффузия.
8. Классификация вакуумных насосов и их характеристики.
9. Течение газа по трубопроводам.
10. Объемная откачка. Вращательные вакуумные насосы.
11. Конструкция и принцип действия турбомолекулярного насоса.
12. Насосы ионно-сорбционного типа.
13. Классификация приборов для измерения вакуума.
14. Вакуумметры для измерения среднего вакуума.
15. Измерение высокого вакуума.
16. Измерение парциальных давлений. Масс-спектрометры.
17. Требования к герметичности вакуумных систем.

## Описание технологии проведения.

Рефераты оформляются в печатном (или электронном) виде. Основные положения реферата зачитываются на практических занятиях с возможностью конспектирования наиболее существенных моментов. Время, отводимое на устный доклад около 20-30 минут.

## Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания).

Реферат оценивается по глубине раскрытия темы.

## 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: собеседование по билетам к зачету.

### Перечень вопросов к зачету и порядок формирования КИМ:

---

1. Классификация вакуумных покрытий
2. Классификация технологий получения вакуумных покрытий
3. Установки для получения вакуумных покрытий.
4. Особенности PVD-технологий получения нанопокровий.
5. Структура покрытий, получаемых PVD-технологиями.
6. Основные физико-механические свойства PVD-покрытий.
7. Модели технологических процессов нанесения PVD-покрытий.
8. Физические основы вакуумного нанесения покрытий.
9. Методы получения вакуума.
10. Методы измерения вакуума.
11. Физика магнетронного распыления.
12. Типы и характеристики магнетронных распылительных систем.
13. Потoki энергичных частиц на поверхность растущих пленок при магнетронном нанесении.
14. Особенности физических процессов при реактивном ионно-плазменном напылении.
15. Лазерное испарение и его физические особенности.
16. Методы измерения и исследования физических свойств PVD-покрытий
17. Методы измерения и исследования механических свойств PVD-покрытий
18. Особенности нанесения PVD-покрытий на пластмассы.
19. Методы подготовки поверхности к напылению.

---

20. Особенности нанесения PVD-покрытий на холодную и горячую подложки.

Описание технологии проведения.

После получения студентом билета КИМ и бланка листа ответа, самостоятельно выполняются задания КИМ в письменной форме. Время подготовки 40 минут. При выставлении итоговой оценки по промежуточной аттестации учитывается активность и успешность работы студента на этапах текущего контроля успеваемости.

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания.

Оценка “зачтено” ставится при условии выполнения заданий по обоим вопросам КИМ. Полнота ответа по каждому вопросу считается достаточной, если раскрыта суть вопроса, без объяснения несущественных деталей.

Оценка “незачтено” ставится при отсутствии выполнения заданий хотя бы одного из двух вопросов КИМ. Или при частичном выполнении заданий по обоим вопросам КИМ, но без раскрытия их основной сути.