

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения дисциплины:

- изучение теоретических основ высоковакуумных покрытий и основных технологий и методов их нанесения.

Задачи освоения дисциплины:

- получение теоретических навыков и компетенций в области существующих и перспективных высоковакуумных технологий;
- физико-химических основ получения покрытий;
- анализ новых областей использования вакуумных покрытий в машиностроении;
- диагностики и испытаний наноматериалов и нанопокровтий в машиностроении;

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «**Высоковакуумные технологические процессы в наноинженерии**» относится к вариативной части Блока 1 цикла подготовки бакалавров по направлению **28.03.02. «Наноинженерия»**.

Освоение дисциплины базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин:

- Аналитическая геометрия и линейная алгебра
- Атомная физика
- Введение в наноинженерию
- Дифференциальные уравнения
- Инженерная графика
- Информатика
- Испытания изделий
- История мировых открытий в области науки и техники
- История развития технологий
- Колебания и волны, оптика
- Композиционные материалы. Металломатричные, с полимерной матрицей.
- Кристаллография, рентгенография
- Математический анализ
- Материаловедение наноматериалов и наносистем
- Методы диагностики в нанотехнологиях
- Методы и средства измерений и контроля
- Механика
- Молекулярная физика и термодинамика
- Нанометрология
- Наноэлектроника
- Начертательная геометрия
- Прикладная механика
- Системы управления технологическими процессами
- Сопrotивление материалов
- Теория вероятностей и математическая статистика
- Технологические системы в нанотехнологиях
- Управление стартапами в социальном предпринимательстве

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

- Управление стартапами в технологическом предпринимательстве
- Физика конденсированного состояния вещества
- Физика твердого тела
- Физико-химические основы нанотехнологий
- Физические основы технологии полупроводниковых приборов и интегральных микросхем
- Химия
- Численные методы и математическое моделирование
- Экология
- Электричество и магнетизм
- Электротехника и электроника
- Ядерная физика

Результаты освоения дисциплины будут необходимы для дальнейшего процесса обучения в рамках поэтапного формирования компетенций при изучении следующих специальных дисциплин:

- Применение ЭВМ в инженерных расчетах
- Программные статистические комплексы

а также для прохождения учебной, производственной и преддипломной практик, государственной итоговой аттестации.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Код и наименование реализуемой компетенции	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций
ОПК-1 Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и общеинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования	Знать: из доступных источников информации основные принципы работы и устройства вакуумной техники и вакуумных установок для получения покрытий, Уметь: использовать научно-техническую, справочную и информацию и руководства пользователя для поддержки работы вакуумных установок в рабочем состоянии; Владеть: необходимым объемом научно-технической информации для разработки технологических процессов получения покрытий в вакууме на имеющемся оборудовании.
ОПК-3 Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспери-	Знать: Принципы работы вакуумных насосов Уметь: Определять численные значения давления в камере вакуумных

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

ментальные данные	установок Владеть: Навыками работы по вакуумированию рабочих камер установок по напылению
ПК-2 Способен осваивать конструктивные особенности и режимы работы оборудования по производству наноструктурированных композиционных материалов	Знать: структуру, состав и особенности работы вакуумных установок по получению покрытий Уметь: разрабатывать технологические процессы получения известных покрытий в вакууме в составе группы под руководством преподавателя и инженера-исследователя Владеть: навыками подготовительных и регламентных работ на вакуумных установках по получению покрытий под руководством преподавателя и инженера-исследователя.
ПК-3 Использовать методики комплексного анализа структуры и свойств наноструктурированных композиционных материалов для испытаний инновационной продукции nanoиндустрии	Знать: Основные методики оценки параметров формируемых вакуумным напылением покрытий Уметь: Пользоваться измерительным оборудованием по оценке необходимых параметров Владеть: Навыками расчета давления по снимаемым характеристикам

4. ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах (всего) – 4 ЗЕ.

4.2. По видам учебной работы (в часах):

Вид учебной работы	Количество часов (форма обучения – очная)		
	Всего по плану	в т.ч. по семестрам	
		1-4	7
Контактная работа обучающихся с преподавателем в соответствии с УП	108/108	-	108/108
Аудиторные занятия:			
• лекции	36/36	-	36/36
• Семинары и практические занятия	36/36	-	36/36
• лабораторные работы, практикумы	-	-	-
Самостоятельная работа	36/36	-	36/36

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

Форма текущего контроля знаний и контроля самостоятельной работы: тестирование, контр. работа, коллоквиум, реферат и др.(не менее 2 видов)	Устный опрос, тестирование	-	Устный опрос, тестирование
Курсовая работа	-	-	-
Виды промежуточной аттестации (экзамен, зачет)	36/36	-	36/36
Всего часов по дисциплине	144/144	-	144/144

* В случае необходимости использования в учебном процессе частично/ исключительно дистанционных образовательных технологий в таблице через слеш указывается количество часов работы ППС с обучающимися для проведения занятий в дистанционном формате с применением электронного обучения.

4.1. Содержание дисциплины (модуля). Распределение часов по темам и видам учебной работы:

Название разделов и тем	Всего	Виды учебных занятий				
		Аудиторные занятия			Занятия в интерактивной форме (в т.ч.)	Самостоятельная работа
		лекции	практические занятия, семинары	лабораторные работы		
Раздел 1. Введение в курс. Основные понятия и определения Основы высоковакуумной техники.	36	12	12	-	-	12
Раздел 2. Технологии формирования покрытий в высоком вакууме.	36	12	12	-	-	12
Раздел 3. Разработка технологических процессов (ТП) и выбор технологических параметров вакуумных установок.	36	12	12	-	-	12
Экзамен по дисциплине	36	-	-	-	-	-
ИТОГО:	144	36	36	-	-	36

5. СОДЕРЖАНИЕ КУРСА

СОДЕРЖАНИЕ КУРСА

Раздел 1. Введение в курс. Основные понятия и определения Основы высоковакуумной техники.

Тема 1. Введение. Основные термины и определения.

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

Требования, предъявляемые к вакуумным покрытиям. Современное состояние рынка оборудования систем создания и поддержания вакуума. Направления развития компаний-участников рынка вакуумного оборудования. Развитие требований потребителей к вакуумному оборудованию.

Тема 2. Теоретические основы вакуумной техники.

Понятие вакуума Основные термины, применяемые в вакуумной технике, Откачка. Время откачки. Предельное остаточное давление. Вакуумная система и ее элементы. Оборудование для получения и поддержания вакуума. Средства для измерения и контроля в вакууме. Пути технологического развития вакуумного оборудования.

Тема 3. Свойства вакуума.

Степень разрежения. Диапазон допустимых величин разрежения. Быстрота откачки. Типовые схемы вакуумных установок. Сравнение технических параметров вакуумных наносов.

Раздел 2. Технологии формирования покрытий в высоком вакууме.

Тема 3. Высоковакуумные методы нанесения покрытий.

Методы физического осаждения из паровой фазы. Типичная схема высоковакуумных установок и ТП для нанесения покрытия. Основные принципиальные схемы катодного распыления. Схема магнетронного распыления. Ионная имплантация. Лазерная группа методов. Технологии, основанные на химических процессах.

Тема 4. Теоретические основы технологии нанесения вакуумных покрытий методом магнетронного распыления с использованием несбалансированных магнетронов.

Структура и состав покрытий, получаемых по данной схеме. Операции технологического процесса, полный технологический цикл нанесения покрытий Параметры технологического процесса, определяющие и контролируемые параметры. Параметры основных операций технологического цикла нанесения покрытий.

Тема 5. Инструментальные методы исследования свойств покрытий.

Методы инструментального измерения свойств покрытий (скратч-тестирование, калотстирование, микро- и наноиндентирование, измерение микротвердости, трибометрирование).

Раздел 3. Разработка технологических процессов (ТП) и выбор технологических параметров вакуумных установок.

Тема 6. Выбор параметров процесса нанесения металлического покрытия ("металлический режим").

Основные параметры и режимы, особенности схем и оснастки.

Тема 7. Разработка вакуумных ТП получения покрытий.

Принципы построения ТП высоковакуумных покрытий, основные технологические операции и возможные проблемы.

Тема 8. Выбор параметров процесса нанесения реактивного покрытия ("реактивный режим").

Основные параметры и режимы, особенности схем и оснастки.

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

6. ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ И СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ

Раздел 1. Введение в курс. Основные понятия и определения Основы высоковакуумной техники.

1. Классификация вакуумных покрытий.
2. Классификация технологий получения вакуумных покрытий и пленок.
3. Обзор установок для получения вакуумных покрытий.
4. Устройства высоковакуумных установок.

Раздел 2. Технологии формирования покрытий в высоком вакууме.

1. Особенности схемы вакуумного напыления наноструктурных покрытий.
2. Модели технологических процессов нанесения вакуумных покрытий.
3. Физические основы процесса вакуумного нанесения покрытий: скорость термического испарения в вакууме, энергетический спектр испаренных атомов, их угловое распределение.
4. Физические основы процесса вакуумного нанесения покрытий: расчет скорости осаждения при баллистическом и диффузионном транспорте вещества от источника к подложке, способы нагрева загрузки и конструкции испарителей, испарение сплавов и соединений.

Раздел 3. Разработка технологических процессов (ТП) и выбор технологических параметров вакуумных установок.

1. Физика магнетронного распыления: электроны в скрещенных электрическом и магнитном полях.
2. Методы измерения и исследования физико-механических и трибологических свойств вакуумных покрытий.
3. ТП покрытий в вакууме.
4. Оптимизация ТП нанесения вакуумных покрытий.

7. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ (ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ)

Данный вид работы не предусмотрен УП

8. ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ, КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ, РЕФЕРАТОВ

Данный вид работы не предусмотрен УП

9. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ

1. Классификация вакуумных покрытий.
2. Классификация технологий получения вакуумных покрытий и пленок.
3. Обзор установок для получения вакуумных покрытий.
4. Устройства высоковакуумных установок.
5. Особенности схемы вакуумного напыления наноструктурных покрытий.
6. Модели технологических процессов нанесения вакуумных покрытий.
7. Физические основы процесса вакуумного нанесения покрытий: скорость термического испарения в вакууме, энергетический спектр испаренных атомов, их угловое распределение.
8. Физические основы процесса вакуумного нанесения покрытий: расчет скорости осаждения при баллистическом и диффузионном транспорте вещества от источника к под-

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

ложке, способы нагрева загрузки и конструкции испарителей, испарение сплавов и соединений.

9. Физика магнетронного распыления: электроны в скрещенных электрическом и магнитном полях.
10. Методы измерения и исследования физико-механических и трибологических свойств вакуумных покрытий.
11. ТП покрытий в вакууме.
12. Оптимизация ТП нанесения вакуумных покрытий.

10. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

Форма обучения **очная**

Название разделов и тем	Вид самостоятельной работы (<i>проработка учебного материала, решение задач, реферат, доклад, контрольная работа, подготовка к сдаче зачета, экзамена и др.</i>)	Объем в часах	Форма контроля (<i>проверка решения задач, реферата и др.</i>)
Раздел 1. Введение в курс. Основные понятия и определения Основы высоковакуумной техники.	Проработка учебного материала, подготовка к сдаче экзамена	12	Устный опрос, тестирование
Раздел 2. Технологии формирования покрытий в высоком вакууме.	Проработка учебного материала, подготовка к сдаче экзамена	12	Устный опрос, тестирование
Раздел 3. Разработка технологических процессов (ТП) и выбор технологических параметров вакуумных установок.	Проработка учебного материала, подготовка к сдаче экзамена	12	Устный опрос, тестирование

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

а) Список рекомендуемой литературы

Основная:

1. Попов А.Н. Вакуумная техника: Учебное пособие / А.Н. Попов. - М.: НИЦ ИнфраМ; Мн.: Нов. знание, 2012. - 167 с.: ил.; 60x88 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). ISBN 978-5-16-006031-6. <http://znanium.com/bookread2.php?book=31736>.
2. Физические основы вакуумной техники/Беркина А.Б., Василевский А.И. - Новоси�.: НГТУ, 2014. - 84 с.: ISBN 978-5-7782-2424-7. <http://znanium.com/bookread2.php?book=546221>.
3. Вакуумная техника. Оборудование, проектирование, технологии, эксплуатация. Ч. 1. Инженерно-физические основы [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.Х. Хаблянян, Г.Л. Саксаганский, А.В. Бурмистров. - Казань: Издательство КНИТУ, 2013. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785788214474.html>.
4. Основы нанотехнологий [Электронный ресурс] / Головин Ю.И. - М.: Машиностроение, 2012. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785942756628.html>.

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

Дополнительная:

1. Вакуумная техника [Электронный ресурс]: справочник /К.Е. Демихов, Ю.В. Панфилов, Н.К. Никулин и др.; под общ. ред. К.Е. Демихова, Ю.В. Панфилова. 3-е изд., перераб. и доп.-М.: Машиностроение, 2009.
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785942754365.html>.
2. Васильев, В. Ю. Технология тонких пленок для микро- и нанoeлектроники : учебное пособие / В. Ю. Васильев. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. — 107 с. — ISBN 978-5-7782-3915-9. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/98748.html>

Учебно-методическая:

1. Методические указания по выполнению лабораторных работ по технологии наноматериалов для студентов бакалавриата, специалитета и магистратуры всех форм обучения / М. Ю. Махмуд-Ахунов, А. А. Соловьев, В. В. Рыбин, Т. М. Василевская; УлГУ, ИФФВТ. - Ульяновск : УлГУ, 2019.
2. Лабораторные работы по физическому материаловедению : учеб. пособие / А. М. Орлов, Б. М. Костишко, А. А. Скворцов. - Ульяновск : УлГУ, 2004. - 98 с.
3. Тарасова, Н. В. Оптические методы исследований наноматериалов и наносистем : методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Материаловедение наноматериалов и наносистем» / Н. В. Тарасова. — Липецк : Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2017. — 23 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/74408.html>

Согласовано:

Зи. дидлер / *отдела общедоступной библиотеки* / *Чамельва А.Ф.* / *27* /
 Должность сотрудника научной библиотеки / ФИО / подпись / дата

б) Программное обеспечение

не предусмотрено

в) Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Электронно-библиотечные системы

- 1.1. **IPRbooks** [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система/ группа компаний Ай Пи Эр Медиа. - Электрон. дан. - Саратов, [2019]. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru>.
- 1.2. **ЮРАЙТ** [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система/ ООО Электронное издательство ЮРАЙТ. - Электрон. дан. – Москва, [2019]. - Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>.
- 1.3. **Консультант студента** [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система/ ООО Политехресурс. - Электрон. дан. – Москва, [2019]. - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/pages/catalogue.html>.
- 1.4. **Лань** [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система/ ООО ЭБС Лань. - Электрон. дан. – С.-Петербург, [2019]. - Режим доступа:

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

<https://e.lanbook.com>.

- 1.5. **Znanium.com** [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система/ ООО Знаниум. - Электрон. дан. – Москва, [2019]. - Режим доступа: <http://znanium.com>.
2. **КонсультантПлюс** [Электронный ресурс]: справочная правовая система/ Компания «Консультант Плюс». - Электрон. дан. - Москва: КонсультантПлюс, [2019].
3. **База данных периодических изданий** [Электронный ресурс]: электронные журналы/ ООО ИВИС. - Электрон. дан. - Москва, [2019]. - Режим доступа: <https://dlib.eastview.com/browse/udb/12>.
4. **Национальная электронная библиотека** [Электронный ресурс]: электронная библиотека. - Электрон. дан. – Москва, [2019]. - Режим доступа: <https://нэб.рф>.
5. **Федеральные информационно-образовательные порталы:**
 - 5.1. Информационная система [Единое окно доступа к образовательным ресурсам](http://window.edu.ru). Режим доступа: <http://window.edu.ru>.
 - 5.2. Федеральный портал [Российское образование](http://www.edu.ru). Режим доступа: <http://www.edu.ru>.
6. **Образовательные ресурсы УлГУ:**
 - 6.1. Электронная библиотека УлГУ. Режим доступа: <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Web>.
 - 6.2. Образовательный портал УлГУ. Режим доступа: <http://edu.ulsu.ru>.
7. **Профессиональные информационные ресурсы:**
 - 7.1. Материалы о менеджменте качества. Режим доступа: <http://quality.eup.ru>.
 - 7.2. Издательство «Стандарты и качество». Режим доступа: <http://www.stq.ru>.
 - 7.3. Ассоциация Деминга. Режим доступа: <http://www.deming.ru>.
 - 7.4. Центр «Приоритет». Режим доступа: <http://www.centerprioritet.ru>.

Согласовано:

зам. нач. УИТИТ *Ключкова АВ* *[Подпись]* _____
 Должность сотрудника УИТИТ ФИО подпись дата

12. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Аудитории для проведения лекций, семинарских занятий, для выполнения лабораторных работ и практикумов, для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации, курсового проектирования, групповых и индивидуальных консультаций.

Аудитории укомплектованы специализированной мебелью, учебной доской. Аудитории для проведения лекций оборудованы мультимедийным оборудованием для предоставления информации большой аудитории.

Перечень оборудования, используемого в учебном процессе:

1. Сканирующий туннельный микроскоп СТМ «УМКА»
2. Мини-анализатор размеров частиц «PhotocorMini»
3. Модуль синтеза наноразмерных частиц.
4. Микроинтерферометр МИИ-4.
5. Атомно-силовой микроскоп NanoEducator
6. Испытательная машина типа ИМАШ-20-78
7. Вакуумный универсальный пост ВУП-5.
8. Микроинтерферометр МИИ-4.
9. Микроскоп МБС-10.

Ульяновский государственный университет Инженерно-физический факультет высоких технологий Кафедра физического материаловедения	Форма	
Ф - Учебная программа		

13. СПЕЦИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) могут предлагаться одни из следующих вариантов восприятия информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей:

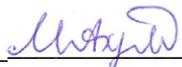
– для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); в печатной форме на языке Брайля; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации;

– для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; видеоматериалы с субтитрами; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации;

– для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

В случае необходимости использования в учебном процессе частично/ исключительно дистанционных образовательных технологий, организация работы ППС с обучающимися с ОВЗ и инвалидами предусматривается в электронной информационно-образовательной среде с учетом их индивидуальных психофизических особенностей

Разработчик


подпись

доцент, Махмуд-Ахунов Марат Юсупович

должность, ФИО