

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования "Пермский
государственный национальный исследовательский
университет"**

Кафедра нанотехнологий и микросистемной техники

Авторы-составители: **Волынцев Анатолий Борисович**

Рабочая программа дисциплины

**ПЛАЗМО-ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕМЕНТОВ
МИКРО- И НАНОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ**

Код УМК 85379

Утверждено
Протокол №9
от «13» мая 2020 г.

Пермь, 2020

1. Наименование дисциплины

Плазмо-химические технологии производства элементов микро- и наносистемной техники

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина входит в вариативную часть Блока « М.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **28.04.01** Нанотехнологии и микросистемная техника
направленность Материалы микро- и наносистемной техники

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Плазмо-химические технологии производства элементов микро- и наносистемной техники** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника (направленность : Материалы микро- и наносистемной техники)

ПК.2 готовность разрабатывать методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологии и микросистемной техники, анализировать их результаты

Индикаторы

ПК.2.1 Использует методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологий и микросистемной техники

4. Объем и содержание дисциплины

Направления подготовки	28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника (направленность: Материалы микро- и наносистемной техники)
форма обучения	очная
№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины	4
Объем дисциплины (з.е.)	4
Объем дисциплины (ак.час.)	144
Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:	48
Проведение лекционных занятий	24
Проведение практических занятий, семинаров	24
Самостоятельная работа (ак.час.)	96
Формы текущего контроля	Защищаемое контрольное мероприятие (3)
Формы промежуточной аттестации	Экзамен (4 триместр)

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Раздел 1. Вакуумная техника и технологии

1. Общие понятия о вакууме. Давление и концентрация частиц. Механизмы теплопередачи в вакууме.

Поведение материалов при низких давлениях. Формула Кнудсена-Герца. Равновесное давление паров для чистых элементов. Вакуумная арматура. Откачные системы. Методы регулирования давления и состава атмосферы в вакуумной камере. Метрология в вакуумной технике. Методы измерения давления. Методы измерения расходов газов.

Раздел 2. Физико-химические свойства низкотемпературной плазмы

Основные понятия о плазме. Виды плазмы. Физические свойства плазмы. Квазинейтральность, дебаевский радиус, плазменная частота, плазменный параметр, плотность и температура плазмы. Элементарные процессы под действием электронного удара. Энергетические распределения электронов и ионов. Распределение Максвелла и Дривестейна. Сечение процесса. Пороговая энергия. Дрейфовое движение электронов и ионов. Диффузия заряженных частиц. Свободная и амбиполярная диффузия. Плавающий потенциал. Кинетика и концентрации частиц. Уравнение непрерывности.

Раздел 3. Электрический разряд в газе

Несамостоятельный и самостоятельный разряд. Основные виды самостоятельных разрядов в газе. Тлеющий, дуговой, искровой и коронный разряд. Тлеющий разряд постоянного тока. Периодические разряды. Высокочастотный емкостной и индукционный разряд. СВЧ-разряд. Эффективное поле.

Раздел 4. Методы контроля параметров плазмы

Метод зондов Ленгмюра. Оптические методы. Масс-спектрометрия. Диагностика плазмы по ее электрофизическим параметрам.

Раздел 5. Процессы взаимодействия плазмы с поверхностью

Виды взаимодействий активных частиц плазмы с поверхностью. Физические процессы при ионном распылении поверхности. Химические реакции в условиях низкотемпературной плазмы. Кинетика взаимодействия химически активных частиц с поверхностью. Связь параметров плазмы с процессами на поверхности.

Раздел 6. Принципы и технологии формирования и обработки материалов в плазме

Распыление и ионное травление материалов. Диодное, триодное и магнетронное распыление. Распыление на постоянном токе, среднечастотное распыление, ВЧ-распыление. Применение ионных источников для обработки материалов. Холловский ионный источник, источник Кауфмана, ионный источник с замкнутым дрейфом электронов. Плазмохимическое травление материалов. Рабочие газы. Параметры, характеризующие процесс плазменного травления. Основные методики с применением емкостно-связанной, индуктивно-связанной плазмы и магнетронного разряда. Реактивное ионное травление. Bosh-процесс. Плазмохимическое осаждение материалов. Исходные реагенты. Основные методики с применением емкостно-связанной, индуктивно-связанной плазмы и магнетронного разряда.

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная:

1. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов. Том 2 : монография / И. В. Суминов, П. Н. Белкин, А. В. Эпельфельд [и др.]. — Москва : Техносфера, 2011. — 512 с. — ISBN 978-5-94836-268-7. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/12748>
2. Мартыненко, Ю. В. Плазменная нанотехнология : учебное пособие / Ю. В. Мартыненко, А. А. Скворода. — Москва : Российский университет дружбы народов, 2010. — 112 с. — ISBN 978-5-209-03528-2. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/11439>
3. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов. Том 1 : монография / И. В. Суминов, П. Н. Белкин, А. В. Эпельфельд [и др.]. — Москва : Техносфера, 2011. — 464 с. — ISBN 978-5-94836-267-0. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/12747>

Дополнительная:

1. Данилин Борис Степанович Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок/Борис Степанович Данилин.-М.:Энергоатомиздат,1989, ISBN 5-283-03939-0.-327.- Библиогр.:с.316-324
2. Основы физики плазмы.в 2 томах/под ред.: А. А. Галеева, Р. Судана.Т. 1.- Москва:Энергоатомиздат,1983.-641
3. Райзер Юрий Петрович Физика газового разряда/Юрий Петрович Райзер.-М.:Наука,1992, ISBN 5-02-014615-3.-535.-Библиогр.:с.528-534
4. Данилин Борис Степанович Вакуумная техника в производстве интегральных схем/Под общ.ред.Р.А.Нилендера.-М.:Энергия,1972.-256.-Библиогр.:с.245-254

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

<http://www.iprbookshop.ru/92008.html> Теплофизические свойства горячей плотной плазмы

https://www.studmed.ru/yureva-a-v-kovalchuk-a-n-vvedenie-v-plazmennye-tehnologii-i-vodorodnuyu-energetiku_bbc3a94dddb.html Введение в плазменные технологии и водородную энергетику

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Образовательный процесс по дисциплине **Плазмо-химические технологии производства элементов микро- и наносистемной техники** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- презентационные материалы (слайды по темам лекционных и практических занятий);
- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС) ;
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень необходимого лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения:

1. Операционная система "ALT Linux".
2. Приложение позволяющее просматривать и воспроизводить медиаконтент PDF-файлов «Adobe Acrobat Reader DC».
3. Программы, демонстрации видео материалов (проигрыватель)«WindowsMediaPlayer».
4. Программа просмотра интернет контента (браузер) «Google Chrome» или аналогичных.
5. Офисный пакет приложений «LibreOffice».

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (**student.psu.ru**).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Лекционные занятия проводятся в аудитории, оснащенной презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой или маркерной доской.

Практические занятия проходят в аудитории, оснащенной презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой или маркерной доской.

Текущий контроль осуществляется в аудитории, оснащенной меловой (и) или маркерной доской.

Групповые (индивидуальные) консультации проводятся в аудитории, оснащенной меловой (и) или маркерной доской.

К помещениям для самостоятельной работы студентов относятся:

- Аудитория для самостоятельной работы, оснащенный компьютерной техникой с возможностью

подключения к сети «Интернет», обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.

• Помещения Научной библиотеки ПГНИУ.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине

Плазмо-химические технологии производства элементов микро- и наносистемной техники

Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.

Индикаторы и критерии их оценивания

ПК.2

готовность разрабатывать методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологии и микросистемной техники, анализировать их результаты

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ПК.2.1 Использует методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологий и микросистемной техники</p>	<p>ЗНАТЬ: физико-химические основы процессов обработки и получения материалов методами вакуумно-плазменных технологий. УМЕТЬ: прогнозировать возможность создания материалов, используя заданные критерии, методами вакуумно-плазменных технологий; анализировать результаты технологических процессов обработки и получения материалов. ВЛАДЕТЬ: основным понятийным аппаратом вакуумно-плазменных технологий; технологическими приемами обработки и получения материалов методами вакуумно-плазменных технологий.</p>	<p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Не знает физико-химические основы процессов обработки и получения материалов методами вакуумно-плазменных технологий. Не умеет прогнозировать возможность создания материалов, используя заданные критерии, методами вакуумно-плазменных технологий; анализировать результаты технологических процессов обработки и получения материалов. Демонстрирует отсутствие навыков владения основным понятийным аппаратом вакуумно-плазменных технологий; технологическими приемами обработки и получения материалов методами вакуумно-плазменных технологий</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания физико-химические основы процессов обработки и получения материалов методами вакуумно-плазменных технологий. Демонстрирует не полное владение основным понятийным аппаратом вакуумно-плазменных технологий; технологическими приемами обработки и получения материалов методами вакуумно-плазменных технологий.</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о физико-химических основах процессов обработки и получения материалов методами вакуумно-</p>

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>плазменных технологий. В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы, умение прогнозировать возможность создания материалов, используя заданные критерии, методами вакуумно-плазменных технологий; анализировать результаты технологических процессов обработки и получения материалов</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания о физико-химических основах процессов обработки и получения материалов методами вакуумно-плазменных технологий. Отличное умение прогнозировать возможность создания материалов, используя заданные критерии, методами вакуумно-плазменных технологий; анализировать результаты технологических процессов обработки и получения материалов. Владение понятийным аппаратом вакуумно-плазменных технологий; технологическими приемами обработки и получения материалов методами вакуумно-плазменных технологий.</p>

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

Вид мероприятия промежуточной аттестации : Экзамен

Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации : Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

Максимальное количество баллов : 100

Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 43 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 43 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
ПК.2.1 Использует методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологий и микросистемной техники	1. Общие понятия о вакууме. Давление и концентрация частиц. Механизмы теплопередачи в вакууме. Защищаемое контрольное мероприятие	Знать основные понятия и принципы вакуумной техники и технологий. Знать физико-химические свойства низкотемпературной плазмы.
ПК.2.1 Использует методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологий и микросистемной техники	Раздел 2. Физико-химические свойства низкотемпературной плазмы Защищаемое контрольное мероприятие	Знать основные виды электрических разрядов в газе и их свойства в зависимости от внешних параметров. Уметь диагностировать параметры плазмы. Знать процессы взаимодействия плазмы с поверхностью.
ПК.2.1 Использует методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик изделий нанотехнологий и микросистемной техники	Раздел 3. Электрический разряд в газе Защищаемое контрольное мероприятие	Знать и владеть основными принципами и технологиями формирования и обработки материалов в плазме, включая распыление, плазмохимическое травление и осаждение.

Спецификация мероприятий текущего контроля

1. Общие понятия о вакууме. Давление и концентрация частиц. Механизмы теплопередачи в вакууме.

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставаемый за мероприятие промежуточной аттестации: **20**

Проходной балл: **9**

Показатели оценивания	Баллы
Знает понятия вакуумной техники и технологий; методы измерения и регулирования давления и состава рабочей атмосферы	6
Знает и понимает основные формулы для дрейфового движение электронов и ионов, свободной и амбиполярной диффузии частиц в плазме, плавающего потенциала и уравнение непрерывности для концентрации частиц в плазме	5
Знает элементарные процессы под действием электронного удара; энергетические распределения электронов и ионов	5
Знает основные физические свойства плазмы, виды плазмы	4

Раздел 2. Физико-химические свойства низкотемпературной плазмы

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставаемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **17**

Показатели оценивания	Баллы
Знает методы контроля параметров плазмы, включая метод зондов Ленгмюра, масс-спектрометрический, оптический метод и метод диагностики плазмы по ее электрофизическим параметрам	13
Знает свойства тлеющего разряда постоянного тока и периодических разрядов, включая ВЧИ, ВЧЕ и СВЧ. Умеет сравнивать свойства разрядов различных частот в терминах эффективного поля	10
Знает процессы взаимодействия плазмы с поверхностью, включая физические процессы при ионном распылении и химические процессы взаимодействия частиц плазмы с поверхностью	10
Знает отличия несамостоятельного и самостоятельного разряда в газе, основные виды самостоятельных разрядов в газе	7

Раздел 3. Электрический разряд в газе

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставаемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **17**

Показатели оценивания	Баллы
Знает принципы и технологические методы плазмохимического осаждения материалов. Умеет выбирать технологические параметры, включая исходные реагентов и режим работы генератора плазмы, в зависимости от материала обрабатываемой подложки и требуемого материала покрытия. Знает параметры, характеризующие процесс плазмохимического осаждения.	17
Знает принципы и технологические методы плазмохимического травления материала.	13

Умеет выбирать технологические параметры, включая рабочего газа и режим работы генератора плазмы, в зависимости от материала обрабатываемой подложки. Знает параметры, характеризующие процесс плазменного травления.	
Знает принципы и технологические методы распыления и ионного травления материалов, включая диодное, триодное и магнетронное распыление мишеней различной природы и в различных режимах	10