

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой общей физики



Турищев С.Ю.
22.05.2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.06 Пучковые технологии роста

1. Код и наименование направления подготовки: *28.04.02 Наноинженерия*
2. Профиль подготовки/специализации: *Физическая нанодиагностика и синхротронные технологии*
3. Квалификация (степень) выпускника: *магистр*
4. Форма образования: *очная*
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: *кафедра общей физики*
6. Составители программы: *Рембеза Екатерина Станиславовна*
д.ф.-м.н., профессор
7. Рекомендована: *НМС физического факультета протокол №5 от 22.05.2024*
8. Учебный год: *2026-2027* Семестр: *3*

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Формирование знаний в области пучковых технологий роста. Изучение закономерности развития пучковых технологий в нанотехнологиях.

Задачи учебной дисциплины:

- получение у обучающихся представлений о физических идеях и принципах пучковых технологий роста, формирование комплекса теоретических знаний о физических свойствах материалов, получаемых пучковыми технологиями роста, важнейших физических процессах и явлениях, составляющих фундаментальную основу пучковых технологий роста;
- изучение явлений и процессов в наноструктурах, получаемых пучковыми технологиями роста, используемых при разработке элементов и приборов нанотехнологии;
- формирование навыков применения пучковых технологий роста для создания материалов, применяемых в области нанотехнологии.

10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП: Учебная дисциплина «Пучковые технологии роста» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений обязательной части блока Б1.

В результате прохождения данной дисциплины обучающийся должен приобрести знания, умения, навыки профессиональных компетенций, необходимых для обеспечения трудовых функций:

D/01.7 «Формирование новых направлений научных исследований и опытно-конструкторских разработок», D/04.7 «Определение сферы применения результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ», В/02.6 «Проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований» профессионального стандарта 40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»;

В/01.7 «Развитие, сохранение и рациональное использование инфраструктуры материаловедческого подразделения в части, касающейся отдельной операции контроля, измерения свойств и испытания основных, вспомогательных и расходных материалов», В/05.7 «Рациональное использование, обслуживание, модернизация и настройка оборудования, обеспечивающего выполнение операций контроля, измерения свойств», С/07.7 «Освоение нового оборудования, обеспечивающего выполнение операций контроля, измерения свойств (инженерных, технологических, эксплуатационных) и испытания материалов» профессионального стандарта 40.005 «Специалист в области материаловедческого обеспечения технологического цикла производства объемных нанометаллов, сплавов, композитов на их основе и изделий из них».

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

Компетенции	Индикаторы	Планируемые результаты
-------------	------------	------------------------

Код	Наименование компетенции	Код(ы)	Наименование индикатора(ов)	обучения
ПК-1	Способен проводить анализ состояния и направлений развития современных технологических и высокоточных диагностических подходов, используемых в наноинженерии	ПК-1.1	Рационально использует материалы и структуры наноинженерии	Знать: - специфику основных материалов применяемых в пучковых технологиях роста; Уметь: - выявлять особенности материалов и структур, полученных пучковыми технологиями роста, для их дальнейшего применения; Владеть: - пучковыми технологиями роста для рационального использования в наноинженерии
ПК-3	Готов обоснованно выбирать сочетания способов решения научно-технических и технологических задач, и делать на основе полученных данных обобщенные выводы, направленные на создание новых и усовершенствование имеющихся процессов наноинженерии, включая подготовку научных публикаций и их апробацию	ПК-3.2	Подбирает эффективное сочетание технологических решений и высокоточных методов диагностики, в том числе на основе использования синхротронного излучения для решения задач наноинженерии функциональных наноматериалов	Знать: - основные пучковые технологии роста; Уметь: - находить наиболее эффективное сочетание технологических решений и высокоточных методов диагностики, в том числе на основе использования синхротронного излучения для решения задач наноинженерии Владеть: - навыками направленными на создание новых и усовершенствование имеющихся процессов наноинженерии
ПК-6	Способен рационально использовать и развивать отдельные элементы и инфраструктуру в целом используемых ресурсных и инфраструктурных решений в масштабах от распределенных до локализованных	ПК-6.1	Научно-обоснованно использует современные функциональные материалы и структуры на их основе в задачах наноинженерии	Знать: - основные свойства и функции материалов и структур, получаемых пучковыми технологиями роста Уметь: - формулировать задачи для использования материалов и структур, получаемых пучковыми технологиями роста, для применения в наноинженерии

	исследовательских центров в области высокоточной диагностики и исследований объектов нанотехнологии, включая установки класса «мегасайенс»			<i>Владеть:</i> навыками анализа при выборе нано-биогибридных материалов и структур для применения в нанотехнологии.
--	--	--	--	--

12 Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 2/72

Форма промежуточной аттестации - зачет

13 Трудоёмкость по видам учебной работы:

Вид учебной работы	Трудоемкость (часы)	
	Всего	По семестрам
		3 сем.
Аудиторные занятия	36	36
в том числе: лекции	18	18
практические занятия	18	18
Самостоятельная работа	36	36
Форма промежуточной аттестации - зачет		
Итого:	72	72

13.1. Содержание разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1. Лекции		
1.1	Понятие пучка заряженных частиц.	Виды пучков и их параметры. Действие пучков заряженных частиц на вещество. Основные направления использования пучков заряженных частиц. Математическое моделирование воздействия пучков заряженных частиц на вещество.
1.2	Вакуум: физические свойства, получение, измерение.	Уравнение газового состояния. Единицы измерения давления. Нормальные условия для воздуха. Степени вакуума. Классификация и основные принципы работы насосов. Механические методы получения вакуума. Физико-химические методы получения вакуума. Прямые и косвенные методы измерения вакуума. Вакууметры.
1.3	Взаимодействие ионов с твердым телом.	Основные процессы, происходящие при бомбардировке вещества ионами, их использование в технологиях. Упругие столкновения. Потенциалы ионно-атомного взаимодействия. Сечение рассеяния. Потери энергии в упругих столкновениях. Неупругие столкновения. Неупругое торможение ускоренных ионов. Соотношение электронного и ядерного торможения. Ионная имплантация.
1.4	Взаимодействие электронов с твердым	Тормозная способность вещества и пробег электронов. Обратное рассеяние электронов. Удельные потери энергии.

	телом.	Обработка материалов электронными пучками.
1.5	Распыление твердых тел.	Механизмы распыления. Самораспыление. Распыление монокристаллов. Распыление многокомпонентных мишеней.
1.6	Современное оборудование для пучковых технологий роста.	Производственная чистота технологического процесса. Системный подход к процессам микро- и нанотехнологий. Классификация современного оборудования для пучковых технологий роста.
1.7	Ускорители для пучковых технологий.	Физические принципы генерации импульсных пучков заряженных частиц. Классификация электронных ускорителей. Линейные ускорители. Циклические ускорители.
1.8	Пучковые методы получения тонких пленок.	Ионно-лучевые методы получения тонких пленок. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Лазерное распыление. Основные принципы методов и необходимое оборудование.
1.9	Методы контроля роста пленок по пучковым технологиям.	Электрофизические методы. Методы рентгеновской дифракции и рентгеновского микроанализа. Сканирующая зондовая микроскопия. Электронная растровая и просвечивающая микроскопия. Ультрамягкая рентгеновская спектроскопия.
2. Лабораторные работы		
2.1	Вакуум: физические свойства, получение, измерение.	Лабораторная работа 1. <i>Изучение процесса создания вакуума с помощью вакуумных насосов</i>
2.2	Взаимодействие электронов с твердым телом.	Лабораторная работа 2. <i>Получение и изучение спектров рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии</i>
2.3	Распыление твердых тел.	Лабораторная работа 3. <i>Изучения процесса создания тонкой металлической пленки методом магнетронного распыления</i>
2.4	Распыление твердых тел.	Лабораторная работа 4. <i>Изучения процесса создания тонкой металлической пленки методом реактивного магнетронного распыления</i>
2.5	Методы контроля роста пленок по пучковым технологиям.	Лабораторная работа 5. <i>Исследование тонких пленок методом электронной растровой и просвечивающей микроскопии</i>

13.2. Разделы дисциплины и виды занятий:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)			
		Лекции	Лабораторные работы	Самостоятельная работа	Всего
1	Понятие пучка заряженных частиц.	2	0	6	8
2	Вакуум: физические свойства, получение, измерение.	2	4	2	8
3	Взаимодействие ионов с твердым телом.	2	0	6	8
4	Взаимодействие электронов с твердым телом.	2	4	2	8
5	Распыление твердых тел.	2	6	2	10
6	Современное оборудование для пучковых технологий роста.	2	0	4	6
7	Ускорители для пучковых технологий.	2	0	6	8

8	Пучковые методы получения тонких пленок.	2	0	6	8
9	Методы контроля роста пленок по пучковым технологиям.	2	4	2	8
	Итого:	18	18	36	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Изучение дисциплины «Пучковые технологии роста» предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем (лекции и лабораторные работы) и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

Основной, наиболее экономичной формой получения и усвоения информации, теоретических знаний в вузе является лекция, позволяющая воспринять значительную сумму знаний и потому способствующая повышению продуктивности всех других форм учебного труда. Наличие собственного конспекта лекций позволяет еще раз ознакомиться, продумать, разобраться в новом материале, так как недостаточно хорошо понятые во время лекции положения могут быть восстановлены в памяти, сопоставлены с другими, додуманы, дополнены, уяснены и расширены с помощью учебной литературы.

Лекционная часть курса органически взаимосвязана с иными видами работ: подбором, изучением, анализом и конспектированием рекомендованной литературы, подготовкой и сдачей зачета по дисциплине, в структуре которых также большое значение имеет самостоятельная работа студента-магистра. Приступая к изучению нового материала, необходимо сосредоточиться, т.е. сконцентрировать внимание и не отвлекаться от выполняемой работы, помня, что желание запомнить является гарантией успешной работы, отсутствие же воли к запоминанию снижает эффект восприятия.

Приступая к работе в лаборатории, студенту следует знать, что любое несоблюдение расписания занятий и дисциплины будет считаться нарушением его служебных обязанностей. Преподаватель, который впервые встречается со студентами на вводном занятии, должен ознакомить их с общими правилами работы в лаборатории, которые они обязаны неукоснительно выполнять.

Предварительную подготовку к работе в лаборатории осуществляют в отведённое для самостоятельной работы время. Готовясь к ней, студент прежде всего должен осознать ее цель, усвоить теоретический материал, добиться четкого представления о физических процессах, которые исследуются на лабораторном занятии.

Успех проведения конкретного лабораторного занятия зависит от его подготовки, которая включает: глубокое изучение студентами теоретического материала; подготовку необходимой учебно-материальной базы и документации (инструкций, методических разработок и т.п.); подготовку преподавателя и студентов.

Подготовку к лабораторному занятию осуществляют в несколько этапов: предварительная подготовка, начало работы, ее выполнение, составление отчета и оценки работы преподавателем. Завершается лабораторная работа оформлением индивидуального отчета и его защитой перед преподавателем. Итоговые оценки выставляют в журнале учета выполнения лабораторных работ и учитывают при выставлении семестровой итоговой оценки по дисциплине.

Приступая к работе в лаборатории, студенту следует знать, что любое несоблюдение расписания занятий и дисциплины будет считаться нарушением его служебных обязанностей. Преподаватель, который впервые встречается со

студентами на вводном занятии, должен ознакомить их с общими правилами работы в лаборатории, которые они обязаны неукоснительно выполнять.

Предварительную подготовку к работе в лаборатории осуществляют в отведенное для самостоятельной работы время. Готовясь к ней, студент прежде всего должен осознать ее цель, усвоить теоретический материал, добиться четкого представления о физических процессах, которые исследуются на лабораторном занятии.

Подготовку к лабораторному занятию осуществляют в несколько этапов: предварительная подготовка, начало работы, ее выполнение, составление отчета и оценки работы преподавателем. Завершается лабораторная работа оформлением индивидуального отчета и его защитой перед преподавателем. Итоговые оценки выставляют в журнале учета выполнения лабораторных работ и учитывают при выставлении семестровой итоговой оценки по дисциплине.

Самостоятельная работа студентов наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью, что наиболее ярко представлено в процессе подготовки магистров. Последнее обусловлено тем, что самостоятельная работа предназначена для формирования навыков самостоятельной работы в учебной, научной деятельности, формирование и развитие способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации. Самостоятельная работа - это планируемая работа студентов, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Подготовка к лекциям является одним из видов самостоятельной работы студентов-магистров. Студентам, чтобы хорошо овладеть учебным материалом, необходимо выработать навыки правильной и планомерной работы.

Самостоятельная работа обучающихся при изучении «Пучковые технологии роста» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, подготовку к лабораторным работам, подготовку к зачету.

Самостоятельная работа студента при изучении «Пучковые технологии роста» включает в себя:

изучение теоретической части курса	- 10 часов
подготовка к лабораторным работам	- 18 часов
подготовку к зачету	- 8 часов
итого - 36 часов	

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов Интернет, необходимых для освоения дисциплины:

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Современные технологии получения и особенности физико-механических и структурных свойств наноматериалов : учебное пособие : / С. В. Мелентьев, А. А. Клопотов, Ю. Ф. Иванов [и др.] ; Томский государственный архитектурно-строительный университет. – Томск : Томский государственный архитектурно-строительный университет (ТГАСУ), 2019. – 80 с.
2	Инновационные технологии и научные основы создания микро- и наноматериалов / В. А. Власов, Г. Г. Волокитин, Н. К. Скрипникова [и др.] ; Томский государственный архитектурно-строительный университет. – Томск : Томский государственный архитектурно-строительный университет (ТГАСУ), 2021. – 120 с.
3	Удовиченко, С. Ю. Пучково-плазменные технологии для создания материалов и устройств микро- и наноэлектроники : учебное пособие / С. Ю. Удовиченко ; Тюменский государственный университет. – Тюмень : Тюменский государственный университет, 2016. – 228 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
5	Инженерия поверхностей конструкционных материалов с использованием плазменных и пучковых технологий / А. В. Белый, А. С. Калинин, О. Г. Девойно, В. А. Кукареко ; Белорусский национальный технический университет. – Минск : Беларуская навука, 2017. – 459 с.
6	Илюшин, В. А. Наноматериалы : учебное пособие : / В. А. Илюшин ; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. – 114 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
9	http://www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ
10	https://edu.vsu.ru – Образовательный портал "Электронный университет ВГУ"
11	Федеральный портал «Российское образование» http://www.edu.ru

16. Учебно-методическое обеспечение для организации самостоятельной работы:

№ п/п	Источник
1	Наноматериалы: свойства и перспективные приложения. – Москва : Научный мир, 2014. – 455 с.

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины:

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии по образовательным формам: лекции; лабораторные работы, индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ–демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Дисциплина может реализовываться с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Учебная аудитория (мультимедийный кабинет) (ауд. 135): специализированная мебель, компьютеры, ноутбуки, проектор, мультимедийное демонстрационное оборудование

Microsoft Windows 7, Windows 10, Microsoft office 2019, Corel Draw 2021

Совместная научно-образовательная лаборатория «Атомное и электронное строение функциональных материалов» Воронежского государственного университета и Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (ауд. 122): компьютеры, ноутбуки, Установка вакуумного резистивного испарения УВН-2М, Электропечь лабораторная SNOL 0,2/1250 (SN 0.2/1250-KE), Низкотемпературная лабораторная электропечь (сушильный шкаф) SNOL20/300, Микроскоп Bresser Science MTL-201 с цифровой камерой Levenhuk M1400, Шкаф

вытяжной модульный ШВМ цельнометаллический с водой 1580x750x2400, Wilsorant (1500ШВМwb), Стол весовой большой 750 СВГ -1500w-M, Стол весовой малый 750 СВГ, Весы аналитические ViBRA HT 224RCE, Вакуумные посты, технологические установки термического, магнетронного, термического и реактивного распыления для контролируемого формирования тонкопленочных покрытий; Электропечь ПТК-1,4-40 с контролируемой атмосферой и автоматизированным управлением для получения материалов с заданными стехиометрией; Стенды измерений электрических параметров материалов и структур; Оптические спектрометры УФ и видимой области; Измерительные и испытательные газосенсорные стенды; Установки для электрофизических исследований и импедансометрии.

Помещение для самостоятельной работы обучающихся (ауд. 135): специализированная мебель, компьютеры, ноутбуки с возможностью подключения к сети Интернет и с обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ВГУ. WinPro 8 RUS. Программная система для обнаружения текстовых заимствований в учебных и научных работах «Антиплагиат.ВУЗ», Office Standard 2019, Microsoft Windows 7, Windows 10, Microsoft office 2019, Corel Draw 2021, Среда ORIGIN PRO 2022b SR1.

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий может осуществляться через образовательный портал "Электронный университет ВГУ".

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	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Оценочные средства
1	Понятие пучка заряженных частиц.	ПК-1, ПК-3, ПК-6	ПК-1.1, ПК-3.2, ПК-6.1	Опрос
2	Вакуум: физические свойства, получение, измерение.	ПК-1, ПК-3, ПК-6	ПК-1.1, ПК-3.2, ПК-6.1	Лабораторная работа 1. Опрос
3	Взаимодействие ионов с твердым телом.	ПК-1, ПК-3, ПК-6	ПК-1.1, ПК-3.2, ПК-6.1	Опрос
4	Взаимодействие электронов с твердым телом.	ПК-1, ПК-3, ПК-6	ПК-1.1, ПК-3.2, ПК-6.1	Лабораторная работа 2. Опрос
5	Распыление твердых тел.	ПК-1, ПК-3, ПК-6	ПК-1.1, ПК-3.2, ПК-6.1	Лабораторная работа 3. Лабораторная работа 4. Опрос
6	Современное оборудование для пучковых технологий роста.	ПК-1, ПК-3, ПК-6	ПК-1.1, ПК-3.2, ПК-6.1	Опрос
7	Ускорители для пучковых технологий.	ПК-1, ПК-3, ПК-6	ПК-1.1, ПК-3.2, ПК-6.1	Опрос

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Оценочные средства
8	Пучковые методы получения тонких пленок.	ПК-1, ПК-3, ПК-6	ПК-1.1, ПК-3.2, ПК-6.1	Опрос, Текущая аттестация
9	Методы контроля роста пленок по пучковым технологиям.	ПК-1, ПК-3, ПК-6	ПК-1.1, ПК-3.2, ПК-6.1	Лабораторная работа 5. Опрос
Промежуточная аттестация: форма контроля – зачет				Вопросы к зачету

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Для текущего контроля успеваемости используется устный опрос на занятиях, выполнение лабораторных работ, текущая аттестация.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета.

Текущая аттестация проводится в формате тестирования с использованием банка заданий фонда оценочных средств. Задание из фонда оценочных средств выбираются в соответствии с уровнем подготовки студентов. Используется задания закрытого типа (тестовые задания) и задания открытого типа (ситуационные задачи)

Банк заданий текущей аттестации (Фонд оценочных средств):

Перечень заданий для оценки уровня освоения дисциплины:

1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

1.1. Что такое пучок заряженных частиц?

- а) Сгусток частиц без заряда
- б) Сгусток заряженных частиц**
- в) Нейтральные частицы
- г) Нейтрино

1.2. Какие частицы могут составлять пучок заряженных частиц?

- а) Протоны и нейтроны
- б) Электроны и фононы
- в) Электроны и ионы**
- г) Нейтрино и кварки

1.3. С помощью каких устройств можно получить пучок заряженных частиц?

- а) Электроды
- б) Ионизационные камеры
- в) Электронные пушки**
- г) Объективы

1.4. Как можно измерить пучок заряженных частиц?

- а) Электрическим током

- б) Методом масс-спектрометрии**
- в) Световым потоком
- г) Изучением механических свойств

1.5. Что такое вакуум?

- а) Очень горячая среда
- б) Среда с высоким давлением
- в) Среда, в которой отсутствует вещество**
- г) Среда с обильным количеством кислорода

1.6. Какое из следующих утверждений о вакууме является верным?

- а) Вакуум не содержит вещества.**
- б) Вакуум является идеальным проводником электричества.
- с) Вакуум не обладает теплопроводностью.

1.7. Какое из перечисленных ниже требований не относится к основным технологическим процессам нанотехнологий?

- а) Высокая точность
- б) Масштабируемость**
- с) Низкая стоимость
- д) Повторяемость

1.8. Какой метод моделирования наиболее часто используется для проектирования микро- и наносистем?

- а) Метод конечных элементов**
- б) Метод конечных разностей
- с) Метод граничных элементов
- д) Метод молекулярной динамики

1.9. Какое из перечисленных ниже требований является наиболее важным для оборудования, используемого в нанотехнологиях?

- а) Высокое разрешение**
- б) Высокая скорость
- с) Низкая стоимость
- д) Удобство использования

1.10. Что такое эпитаксиальный рост пленки?

- а) Рост пленки на аморфной подложке.
- б) Рост пленки, при котором структура пленки повторяет структуру подложки.**
- с) Рост поликристаллической пленки.
- д) Рост монокристаллической пленки на другой монокристалле.

1.11. Что такое тонкая пленка?

- а) Материал толщиной менее 100 нм.**
- б) Материал, толщина которого сравнима с длиной волны света.
- с) Материал с высокой прозрачностью.
- д) Любой материал, нанесенный на подложку

1.12. Какие методы используются для получения тонких пленок?

- а) Термическое испарение, магнетронное распыление, химическое осаждение из паровой фазы (CVD), физическое осаждение из паровой фазы (PVD).

- b) Лазерная абляция, электрохимическое осаждение, анодирование.
- c) Молекулярно-лучевая эпитаксия (MBE), плазменное напыление, ионное легирование.

d) Все вышеперечисленные методы

1.13. Какие основные свойства тонких пленок изучаются?

- a) Электрические, механические, оптические, химические.**
- b) Теплопроводность, звукоизоляция, антикоррозийные свойства.
- c) Магнитные, биологические, радиационные свойства.
- d) Термостойкость, огнестойкость, устойчивость к ультрафиолетовому излучению.

1.14. Что такое коэффициент отражения пленки?

- a) Отношение интенсивности отраженного света к интенсивности падающего света.**
- b) Отношение амплитуды отраженной волны к амплитуде падающей волны.
- c) Отношение длины волны отраженного света к длине волны падающего света.
- d) Отношение угла падения к углу отражения.

1.15. Для чего используется метод четырехзондового измерения сопротивления?

- a) Для определения удельного сопротивления пленки.**
- b) Для измерения толщины пленки.
- c) Для оценки качества адгезии пленки к подложке.
- d) Для контроля однородности пленки.

1.16. Что такое электронная корреляция в контексте квантовой механики?

- a) Взаимодействие электронов с внешним полем.
- b) Влияние движения одного электрона на движение других электронов в системе.**
- c) Вклад в энергию системы, связанный с обменом электронами между различными орбиталями.
- d) Энергия кулоновского притяжения между электронами и ядрами.

1.17. Какой метод является основным методом учёта корреляционных эффектов в рамках подхода самосогласованного поля?

- a) Метод Хартри.
- b) Метод конфигурационного взаимодействия (CI).**
- c) Метод функционала плотности (DFT).
- d) Метод Монте-Карло.

1.18. Каким образом учитываются корреляции в методе конфигурационного взаимодействия?

- a) Путём суммирования вкладов от различных конфигураций электронов.**
- b) Путём решения уравнений Хартри-Фока итеративным методом.
- c) Путём замены многоэлектронной задачи на задачу о распределении электронной плотности.
- d) Путём введения поправок к потенциалу взаимодействия.

1.19. Почему метод Хартри-Фока не учитывает корреляционные эффекты?

- a) Потому что он предполагает независимость движений электронов.**
- b) Потому что в нём используется классическая теория возмущений.
- c) Потому что этот метод основывается на упрощённых моделях взаимодействия частиц.
- d) Потому что учёт корреляции требует дополнительных вычислений.

1.20. Каково основное уравнение квантовой теории, описывающее поведение системы многих тел?

- a) **Уравнение Шредингера.**
- b) Уравнение Дирака.
- c) Уравнение Клейна-Гордона.
- d) Уравнение Гамильтона-Якоби.

1.21. Какие частицы подчиняются статистике Ферми-Дирака?

- a) Фотоны.
- b) **Фермионы.**
- c) Бозоны.
- d) Лептоны.

1.22. Чему равен спин фермионов?

- a) Целому числу.
- b) **Половине целого числа.**
- c) Любому рациональному числу.
- d) Любому иррациональному числу.

1.23. Что из перечисленного можно отнести к наноматериалам?

- a) Углеродные нанотрубки, металлические нанопроволоки, керамические наноструктуры.
- b) Полимерные нановолокна, графены, фуллерены.
- c) Карбоновые наноточки, квантовые точки, квантовые ямы.
- d) Все вышеперечисленные варианты.

1.24. Что такое поверхностные эффекты?

- a) Влияние границы раздела на свойства материала.
- b) Изменение свойств материала вблизи поверхности.
- c) Влияние внешней среды на свойства поверхности материала.
- d) Поверхностные эффекты означают изменение свойств материала вблизи поверхности.

1.25. Какой из перечисленных объектов является источником синхротронного излучения?

- a) **Синхротрон**
- b) Лазер
- c) Рентгеновская трубка
- d) Радиоактивный изотоп

1.26. Какой физический процесс лежит в основе генерации синхротронного излучения?

- a) **Отклонение заряженных частиц в магнитном поле**
- b) Ядерный распад
- c) Термоядерный синтез
- d) Фотоэффект

1.27. Какая из перечисленных характеристик синхротронного излучения является уникальной?

- a) Монохроматичность
- b) Поляризация

- c) **Высокая интенсивность**
- d) Коллимация

1.28. Какие волновыми свойствами обладает электромагнитное излучение рентгеновского диапазона?

- a) Преломление и отражение
- b) полное внутреннее отражение
- c) полное внешнее отражение
- d) **все перечисленное**

1.29. Какой прибор используется для получения рентгеновских дифракционных данных?

- a) Электронный микроскоп
- b) **Дифрактометр**
- c) Спектроскоп

1.30. Какой из параметров не влияет на рентгеновский дифракционный спектр?

- a) Толщина образца
- b) **Цвет образца**
- c) Угол падения излучения

1.31. Какие элементы относятся к ферромагнитным металлам переходной группы?

- a) Натрий, калий, кальций
- b) **Железо, кобальт, никель**
- c) Медь, серебро, золото
- d) Углерод, кремний, германий

1.32. Поток газа

- a) **это количество газа, проходящего через данное сечение трубопровода в единицу времени.**
- b) остаточное давление, которое может быть обеспечено насосом
- c) допустимое (наибольшее) выпускное давление на выходе насоса, дальнейшее повышение которого нарушает нормальную работу, а также состав остаточной атмосферы.

1.33. К чему может привести попадание влаги механический насос?

- a) Образование трудноразделимой эмульсии масло — вода
- b) Повышение предельного остаточного давления
- c) Коррозия отдельных деталей насоса
- d) Выход насоса из строя
- e) **Все вышеперечисленное**

1.34. К чему может привести и почему уменьшается уровень масла в насосе?

- a) **насос не обеспечивает необходимого предельного остаточного давления**
- b) насос выходит из строя
- c) насос продолжает работать

1.35. Величина предельного вакуума достигаемого механическим насосом?

- a) **10^{-1} Па**
- b) 10^{-10} Па
- c) 10^4 Па
- d) 10^{-5} Па

1.36. К методам течеискания не относится:

- a) Опрессовка
- b) Манометрический
- c) Масс-спектрометрический
- d) Электронный**

1.37. Плотность состояний – это...

- a) число энергетических состояний в системе размерности, приходящихся на единичный интервал энергии в расчете на единицу объема.**
- b) отношение дрейфовой скорости носителей к электрическому полю.
- c) наноструктура с одномерным электронным газом, в которой движение носителей пространственно ограничено по двум степеням свободы.

1.38. Подвижность - это...

- a) число энергетических состояний в системе размерности, приходящихся на единичный интервал энергии в расчете на единицу объема.
- b) отношение дрейфовой скорости носителей к электрическому полю.**
- c) наноструктура с одномерным электронным газом, в которой движение носителей пространственно ограничено по двум степеням свободы.

1.39. Квантовая нить – это ...

- a) число энергетических состояний в системе размерности, приходящихся на единичный интервал энергии в расчете на единицу объема.
- b) наноструктура в виде пленки, толщина которой соизмерима с длиной волны де Бройля
- c) наноструктура с одномерным электронным газом, в которой движение носителей пространственно ограничено по двум степеням свободы.**

1.40. Квантовая точка – это...

- a) наноструктура в виде пленки, толщина которой соизмерима с длиной волны де Бройля
- b) наноструктура с одномерным электронным газом, в которой движение носителей пространственно ограничено по двум степеням свободы.**
- c) наноструктура, в которой движение носителей ограничено по всем пространственным степеням свободы.

1.41. Для чего используется метод люминесцентной спектроскопии?

- a) Для определения концентрации примеси в материале.**
- b) Для изучения структуры кристаллических решеток.
- c) Для измерения механических напряжений в материале.
- d) Для анализа тепловых свойств материалов

1.42. Какой метод используется для исследования топографии поверхности материалов?

- a) Электронная микроскопия высокого разрешения.
- b) Оптическая когерентная томография.
- c) Атомно-силовая микроскопия.**
- d) Конфокальная микроскопия.

1.43. Какое устройство используется в дифференциальной спектрофотометрии для сравнения двух образцов?

- a) Двухлучевой спектрофотометр.**
- b) Однолучевой спектрофотометр.
- c) Фотоумножитель.
- d) Спектральный фильтр.

1.44. Для чего используется метод Фурье-преобразования в Фурье-спектроскопии?

- a) Для фильтрации шумов в сигнале.
- b) Для расчета интеграла свертки сигналов.
- c) Для перехода из временной области в пространственную.
- d) Для перевода данных из временного представления в частотное**

1.45. Какой диапазон длин волн охватывает Фурье-инфракрасная спектроскопия (FTIR)?

- a) От 0.01 до 400 мкм.
- b) От 0.75 до 25 мкм.**
- c) От 200 до 25000 нм.
- d) От 700 до 1100 нм.

1.46. Что такое внутренний фотоэффект?

- a) Испускание электронов с поверхности полупроводника под действием света.
- b) Переход электронов из валентной зоны в зону проводимости под действием света.**
- c) Генерация свободных носителей заряда в полупроводнике под действием тепла.
- d) Генерация фотонов при рекомбинации электронов и дырок

2) задания с коротким ответом (ответ на задание состоит из числа, слова или словосочетания, повышенный уровень сложности):

2.1. Свеллинг - увеличение объема приповерхностного слоя за счет

Ответ: радиационного порообразования.

2.2. Попадание твердых предметов в рабочую камеру насоса приводит к

Ответ: его поломке.

2.3. Сверхвысокий вакуум возможен при давлении 10^{-10} в степени ____ мм.рт.ст.

Ответ: -10

2.4. Процесс фотоэлектронной эмиссии описывается уравнением Эйнштейна

$$h\nu = E_{св.} + E_{кин.} + \phi, \text{ в котором } h\nu - \text{это}$$

Ответ: Энергия падающего кванта

2.5. Какие носители заряда участвуют в процессе внутреннего фотоэффекта в полупроводниках?

Ответ: Электроны и вакансии (или электроны и дырки)

2.6. Опишите, как принцип неопределенности Гейзенберга ограничивает разрешение электронных микроскопов.

Ответ: Счетчик Гейгера

2.7. Траектория заряженных частиц в магнитном поле представляет собой

Ответ: окружность

2.8. Скорость заряженных частиц уменьшается с увеличением

Ответ: заряда частицы

2.9. Какая единица измерения используется для энергии заряженных частиц?

Ответ: Электрон-вольт

2.10. Какое устройство используется для анализа поверхности твердого тела с помощью электронов

Ответ: Сканирующий электронный микроскоп

2.11. Какое устройство используется для имплантации ионов в твердое тело?

Ответ: Ионный ускоритель

2.12. В каких единицах принято измерять давления в вакууме?

Ответ: Торр

2.13. Какие основные механизмы роста пленок вы знаете?

Ответ: Франка-Ван-дер-Мерве, Волмера-Вебера, Странски-Крастанова

2.14. Что такое прозрачность пленки?

Ответ: Способность пропускать электромагнитное излучение.

2.15. Какое свойство пленки можно определить с помощью сканирующей зондовой микроскопии (SPM)?

Ответ: Топографию поверхности.

2.16. Неупругим типом рассеяния электромагнитного излучения с изменением длины волны называется

Ответ: Комптоновским

2.17. Упругим типом рассеяния электромагнитного излучения условием которого является малость рассеивателей называется

Ответ: Релеевское (или Релеевским)

2.18. Упругим типом рассеяния электромагнитного излучения, теория которая в том числе может быть применима к видимому спектру излучению, называется

Ответ: Томпсоновским (или Томпсона)

2.19. Что измеряется при рентгеноструктурном анализе?

Ответ: Углы дифракции.

2.20. Как называется инструмент, который используется в рентгеноструктурном анализе?

Ответ: Рентгеновский дифрактометр

2.21. Какой тип магнитной анизотропии характерен для тонких пленок?

Ответ: Формационная анизотропия

2.22. Среди множества особенностей синхротронного излучения, для изучения быстропротекающих процессов используют ее структурированность во

Ответ: времени

2.23.Эммитансом называется

Ответ: расходимость пучка электронов (или расходимость пучка)

2.24. Среди вставных магнитных устройств для синхротронов принято выделять ...

Ответ: ондуляторы, вигглеры, шифтеры

2.25.В синхротронах первого поколения, синхротронное излучение являлось

Ответ: паразитным.

3) открытые задания (ситуационные задачи, средний уровень сложности):

3.1. Что такое электронный газ?

3.2. Что такое магнитная постоянная наночастицы?

3.3. Какие факторы влияют на магнитную силу нанонити (нанопроволоки)?

3.4. Чем отличается ферромагнетизм от антиферромагнетизма?

Ответ: Направлением магнитных моментов соседних атомов

3.5. Что такое синхротронное излучение

Ответ: магнитотормозное электромагнитное излучение, испускаемое релятивистскими заряженными частицами при изменении траектории движения

3.6. Опишите принцип работы квадрупольного масс-спектрометра

Ответ:

3.7. Объясните, как эффект Оже используется для анализа химического состава поверхности.

Ответ:

3.8. Опишите, как принцип неопределенности Гейзенберга ограничивает разрешение электронных микроскопов.

Ответ:

3.9. Что такое магнитная анизотропия?

Ответ: Способность магнита создавать вокруг себя магнитное поле

3.10. Какой из методов контроля чаще всего используется для измерения толщины пленки?

Ответ: Эллипсометрия.

3.11. Как влияет облучение ионами на диффузию атомов в кристалле?

3.12. К чему обычно приводит наличие селективного травления?

3.13. Какова основная причина значительного увеличения проводимости при больших дозах имплантации в полимеры?

3.14. В чем состоят основные преимущества метода ионной имплантации

Ответ: Возможность точного контроля количества введенных атомов примеси простым интегрированием ионного тока. Малое время процесса введения примесей. Чистота технологии из-за применения масс-сепарации примесей в ускорителе. Возможность создания строго локализованных легированных областей в кристалле, в том числе с субмикронными размерами и трехмерной локализацией. Низкая температура мишени. Возможность легирования через тонкие пассивирующие слои. Возможность создания пересыщенных, по сравнению с равновесными, твердых растворов. Многоступенчатая имплантация, позволяющая посредством изменения ускоряющего напряжения выбрать профиль распределения имплантированных примесей. Возможность получения заглубленных слоев.

3.15. Классификация вакуумных насосов.

Ответ: Механические, маслянные, пластинчато-роторные, Пароструйные вакуумные насосы, сорбционные вакуумные насосы, криогенные вакуумные насосы,

3.16. Принцип действия пластинчато-роторных насосов?

3.17. Принцип работы пластинчато-статорных насосов?

3.18. Вакуумные насосы по назначению подразделяются на ...

Ответ: сверхвысоковакуумные, высоковакуумные, средневвакуумные и низковакуумные

3.19. Что такое дифракционный предел?

3.20. Перечислите основные свойства Синхротронного излучения

Критерии и шкалы оценивания:

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ, в том числе частично.

2) задания с коротким ответом (ответ на задание состоит из числа, слова или словосочетания, повышенный уровень сложности):

- 2 балла – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ, в том числе частично.

3) открытые задания (ситуационные задачи, средний уровень сложности):

- 5 баллов – задание выполнено верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) характер принятого решения);
- 2 балла – задание выполнено с незначительными ошибками, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование характера принятого решения, или задание выполнено не полностью, но получены промежуточные результаты, отражающие правильность хода выполнения задания, или, в случае если задание состоит из выполнения нескольких подзаданий, 50% которых выполнено верно;
- 0 баллов – задание не выполнено, или ответ содержательно не соотнесен с заданием, или выполнено неверно (ход выполнения ошибочен или содержит грубые ошибки, значительно влияющие на дальнейшее его изучение).

Тестирование предусматривает выполнение 10 заданий закрытого типа (максимальное количество баллов - 10) и 8 заданий открытого типа (5 с коротким

ответом и 2 ситуационных задачи) (максимальное количество баллов - 20). Если студент набрал менее 15 баллов, то ставится оценка – «не-удовлетворительно», менее 18 баллов - «удовлетворительно», менее 25 – «хорошо». Если в результате тестирования студент набирает более 25 баллов, то ставится отметка «отлично»

Перечень тем лабораторных работ

1. Лабораторная работа 1. Изучение процесса создания вакуума с помощью вакуумных насосов
2. Лабораторная работа 2. Получение и изучение спектров рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии
3. Лабораторная работа 3. Изучения процесса создания тонкой металлической пленки методом магнетронного распыления
4. Лабораторная работа 4. Изучения процесса создания тонкой металлической пленки методом реактивного магнетронного распыления
5. Лабораторная работа 5. Исследование тонких пленок методом электронной растровой и просвечивающей микроскопии

Перечень вопросов для опросов.

1. Основные определения и понятия вакуумной техники. Применение вакуума.
2. Понятие о вакууме и давлении. Давление газа. Законы идеальных газов. Единицы давления
3. Понятие о процессе откачки вакуумной системы. Быстрота откачки объекта. Быстрота откачивающего действия насоса
4. Поток газа. Основное уравнение вакуумной техники
5. Классификация вакуумных насосов.
6. Основные параметры насосов. Объемная откачка. Предельное давление объемной откачки
7. Взаимодействие излучения с веществом. Спектры поглощения, испускания и рассеяния.
8. Источники излучения. Электронные пушки и рентгеновские трубки.
9. Основные узлы спектроскопических приборов.
10. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, основы метода и его возможности.
11. Рентгеновская флуоресценция. Рентгеновское характеристическое излучение.
12. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, основы метода и его возможности.
13. Рентгеновская флуоресценция. Рентгеновское характеристическое излучение.
14. Физические принципы растровой электронной микроскопии
15. Дифракционный контраст в просвечивающей электронной микроскопии
16. Амплитудный контраст в просвечивающей электронной микроскопии
17. Фазовый контраст в просвечивающей электронной микроскопии
18. Светлопольное и темнопольное изображения в просвечивающей электронной микроскопии
19. Разрешение и глубина резкости изображения в просвечивающей электронной микроскопии
20. Влияние размера кристаллита на получаемую дифракционную картину в просвечивающей электронной микроскопии.
21. Дифракционная картина для кристаллических и аморфных материалов.

22. Схема и основные узлы просвечивающего электронного микроскопа.
23. Назначение и конструкция электромагнитных линз в просвечивающем электронном микроскопе и растровом электронном микроскопе
24. Предельное разрешение изображения, получаемое в просвечивающем электронном микроскопе и растровом электронном микроскопе
25. Ограничения для исследуемых объектов в просвечивающем электронном микроскопе и растровом электронном микроскопе

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация в форме зачета по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств

Перечень вопросов к промежуточной аттестации

1. Виды пучков заряженных частиц и их действие на вещество.
2. Основные направления использования пучков заряженных частиц.
3. Математическое моделирование воздействия пучков заряженных частиц на вещество.
4. Понятие вакуума и его физические свойства.
5. Классификация и основные принципы работы насосов.
6. Механические методы получения вакуума.
7. Физико-химические методы получения вакуума.
8. Прямые и косвенные методы измерения вакуума. Вакууметры.
9. Взаимодействие ионов с твердым телом.
10. Взаимодействие электронов с твердым телом.
11. Механизмы распыления твердых тел.
12. Современное оборудование для пучковых технологий роста.
13. Физические принципы генерации импульсных пучков заряженных частиц.
14. Классификация электронных ускорителей. Линейные ускорители. Циклические ускорители.
15. Основные принципы пучковых методов роста тонких пленок.
16. Методы контроля роста пленок по пучковым технологиям.

Описание технологии проведения промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация по дисциплине – *зачет*. Оценка за освоение дисциплины определяется ведущим дисциплину преподавателем как экспертом. В приложение к диплому вносится оценка *зачтено*.

При оценке освоения обучающегося программы дисциплины «Пучковые технологии роста» используются следующие критерии:

- уровень профессиональной подготовки;
- качество и своевременность выполнения лабораторных работ;
- ответы на вопросы.

Уровень профессионализма (профессиональные знания, умения, навыки и компетенции) оценивается по следующим показателям:

- умение формулировать цели исследований;
- адекватное применение физико-математического аппарата для решения поставленных задач;
- адекватная рефлексия выполняемой научно-практической деятельности.

Критерии оценки работы обучающихся, которые соотносятся с уровнями сформированности компетенций:

- «*зачтено*» выставляется при полном соответствии работы обучающегося всем вышеуказанным показателям. Соответствует повышенному, базовому и пороговому уровням сформированности компетенций: компетенции сформированы полностью, проявляются и используются систематически и в полном объеме. Данный уровень обязателен для всех осваивающих ОПОП;

- «*незачтено*» выставляется в случае несоответствия работы обучающегося всем требуемым показателям, неорганизованности, безответственности и низкого качества работы при выполнении заданий, предусмотренных программой дисциплины «Пучковые технологии роста».

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач	Повышенный, базовый, пороговый уровни	Зачтено
Ответы на вопросы не соответствуют любым из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при выполнении практических задач	—	Незачтено

Факт невыполнения требований, предъявляемых к студенту при освоении дисциплины «Пучковые технологии роста» и отраженных в вышеперечисленных критериях, фиксируется в ведомости оценкой *незачтено*.

Если обучающийся не осваивает дисциплину в установленном программой объеме и в сроки, определенные графиком учебного процесса, он не допускается к промежуточной аттестации по данному виду учебной работы.

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

При оценивании используются качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.