

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой общей
физики



Туритцев С.Ю.
22.05.2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.10 Физика тонких пленок в нанотехнологиях

1. Код и наименование направления подготовки: **28.04.02 Нанотехнологии**
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 необходимых для выбора и реализации методов получения, исследования и применения тонкопленочных структур различного назначения

Задачи учебной дисциплины:

- получение у обучающихся представлений об особенностях формирования, исследования и применения тонких пленок в нанотехнологии;
- знакомство с основными представлениями о закономерностях образования тонких пленок;
- изучение физических основы различных методов получения тонких слоев, использующихся при разработке элементов и приборов нанотехнологии;
- овладение навыками применения методов получения тонких слоев для получения материалов с различными физическими и химическими свойствами.

10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП: Учебная дисциплина «Физика тонких пленок в нанотехнологии» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений обязательной части блока Б1.

В результате прохождения данной дисциплины обучающийся должен приобрести знания, умения, навыки общепрофессиональных и 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 обучения
Код	Наименование компетенции	Код(ы)	Наименование индикатора(ов)	

ПК-1	Способен проводить анализ состояния и направлений развития современных технологических и высокоточных диагностических подходов, используемых в наноинженерии	ПК-1.2	Разрабатывает техническое задание и его элементы на формирование новых функциональных материалов и структур на их основе с управляемыми свойствами	Знать: - современные тонкопленочные материалы, перспективы их применения; основные направления исследований тонких пленок Уметь: - выбирать теоретические варианты и экспериментальные методы решения физико-технологических задач синтеза и применения тонких пленок; формулировать рекомендации по совершенствованию структуры и свойств функциональных устройств микро- и наноэлектроники; Владеть: - навыками планирования эксперимента, подготовки научно обоснованных выводов и оптимизации структуры и свойств функциональных устройств микро- и наноэлектроники; способностью предлагать и анализировать модели физических явлений и процессов;
ПК-2	Осуществляет предметный анализ актуальных направлений научно-инновационной деятельности в области наноинженерии для организации и координации работ в направлении от фундаментальных исследований к практическому применению	ПК-2.1	Выполняет обоснованный выбор видов научно-инновационной и производственной деятельности для отдельных технологических операций наноинженерии	Знать: - тенденции развития наноинженерии, твердотельной микро- и наноэлектроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий; Уметь: - выбирать и обосновывать тот или иной вид научно-инновационной и производственной деятельности для отдельных технологических операций наноинженерии Владеть: - навыками осуществления предметного анализ актуальных направлений научно-инновационной деятельности в области наноинженерии для организации и координации работ в направлении от фундаментальных исследований к практическому применению
ПК-3	Готов обоснованно выбирать сочетания способов решения научно-технических и	ПК-3.2	Подбирает эффективное сочетание технологических решений и высокоточных методов	Знать: - основные методы исследования тонких пленок; Уметь: - находить наиболее эффективное сочетание технологических реше-ний

	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		диагностики, в том числе на основе использования синхротронного излучения для решения задач наноинженерии функциональных наноматериалов	и высокоточных методов диагностики, в том числе на основе использования синхротронного излучения для решения задач наноинженерии <i>Владеть:</i> - навыками направленными на создание новых и усовершенствование имеющихся процессов наноинженерии
--	--	--	---	--

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

Форма промежуточной аттестации – зачет

13 Трудоемкость 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	Общие закономерности роста пленок	Основные типы тонких пленок. Материалы подложек. Свойства подложек. Требования, предъявляемые к подложкам. Поверхность подложек. Сорбция и десорбция. Очистка подложек. Процессы формирования пленок. Зародышеобразование. Зародышевый рост пленок. Послойный и спиральный рост пленок. Процессы роста эпитаксиальных слоев. Критерии прогноза ориентации. Рост пленок по Фольмеру и Веберу. Кинетика зарождения и роста, структура, субструктура. Рост по Франку и Ван дер Мерве. Структурные и субструктурные превращения при росте пленок. Рост по Странскому и Крастанову. Низкоразмерные монокристаллы. Немонокристаллические

		структуры. Образование дефектов роста пленок.
1.2	Методы получения и обработки тонких пленок	Напыление пленок термическим способом. Синтез пленок с помощью электронного луча. Осаждение пленок с помощью ионного распыления. Магнетронные напылительные системы. Описание метода магнетронного напыления. Магнетронные установки. Химические способы осаждения пленок. Электрохимические методы формирования пленок: электролитический способ осаждения пленок; электрофоретические покрытия. Приготовление пленок с помощью лазера. Обработка пленок. Создание пленочных изделий. Литография.
1.3	Свойства пленок и их изучение	Устройства по контролю роста пленок. Измерение толщины пленок. Адгезия и методы ее измерения. Влияние подложки на характеристики пленки. Механические характеристики пленок. Анализ структуры пленок. Электрофизические свойства пленок проводников. Пленки проводников. Тонкопленочные резисторы. Тонкие пленки диэлектриков.
2. Практические работы		
2.1	Общие закономерности роста пленок	Практическая работа 1. <i>Механизмы зарождения и роста конденсатов в вакууме. Эпитаксия. Критерии прогноза ориентации пленок на ориентирующих подложках.</i>
2.2	Методы получения и обработки тонких пленок	Практическая работа 2. <i>Выбор подложки, пробоподготовка и определение условий для синтеза пленки методом магнетронного распыления, методом газофазного синтеза и методом анодного окисления</i>
2.3	Свойства пленок и их изучение	Практическая работа 3. <i>Исследование параметров пленок: толщины пленки, структуры пленки, механических характеристик.</i>

13.2. Разделы дисциплины и виды занятий:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)			
		Лекции	Практическое занятие	Самостоятельная работа	Всего
1	Общие закономерности роста пленок	6	6	12	24
2	Методы получения и обработки тонких пленок	6	6	12	24
3	Свойства пленок и их изучение	6	6	12	24
	Зачет				
	Итого:	18	18	36	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Изучение дисциплины «Физика тонких пленок в нанотехнологиях» предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем (лекции и практики) 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.

Практические занятия направлены на более глубокое освоение материала, изложенного на лекциях. Занятия проводятся в режиме диалога и обсуждения наиболее сложных вопросов в аудитории.

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 «Физика тонких пленок в наноинженерии» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, подготовку к практическим занятиям, подготовку к зачету.

Самостоятельная работа студента при изучении «Физика тонких пленок в наноинженерии» включает в себя:

изучение теоретической части курса	- 10 часов
подготовка к практическим занятиям	- 12 часов
подготовку к зачету	- 14 часов
итого - 36 часов	

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

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Васильев, В. Ю. Технология тонких пленок для микро- и наноэлектроники : учебное пособие : / В. Ю. Васильев ; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. – 107 с.
2	Маскаева, Л. Н. Технология тонких пленок и покрытий : учебное пособие / Л. Н. Маскаева, Е. А. Федорова, В. Ф. Марков ; под общ. ред. Л. Н. Маскаевой ; Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2019. – 239 с.
3	Твердохлеб, П. В. Оптические свойства тонких диэлектрических пленок : учебное пособие : / П. В. Твердохлеб, М. А. Пономарева ; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. – 87 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
5	Физико-химические основы создания активных материалов : учебник / М. Ф. Куприянов, Ю. В. Кабиров, А. Г. Рудская [и др.] ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону : Южный федеральный университет, 2011. – 278 с.
6	Марков, В. Ф. Технология тонкопленочных твердотельных сенсоров : учебное пособие / В. Ф. Марков, Л. Н. Маскаева ; под общ. ред. В. Ф. Маркова ; Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2019. – 151 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	Химические и физические процессы в неорганических материалах : учебное пособие : / Н. В. Борисова, Э. П. Суровой, Л. Н. Бугерко [и др.] ; Кемеровский государственный университет. – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2014. – Часть 1. – 136 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 4 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 ШБМ цельнометаллический с водой 1580x750x2400, Wilsorant (1500ШБМwb), Стол весовой большой 750 СВГ -1500w-M, Стол весовой малый 750 СВГ, Весы аналитические ViBRA HT 224RCE

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.VY3», 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	Общие закономерности роста пленок	ПК-1, ПК-2, ПК-3	ПК-1.2, ПК-2.1, ПК-3.2	Практическое занятие 1. Опрос
2	Методы получения и обработки тонких пленок	ПК-1, ПК-2, ПК-3	ПК-1.2, ПК-2.1, ПК-3.2	Практическое занятие 2. Опрос
3	Свойства пленок и их изучение	ПК-1, ПК-2, ПК-3	ПК-1.2, ПК-2.1, ПК-3.2	Практическое занятие 3. Опрос Текущая аттестация
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 практических заданий, 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. Используются 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 фотоны
- 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.
- в) Вакуум не обладает теплопроводностью.

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

- а) Высокая точность
- б) Масштабируемость**
- в) Низкая стоимость
- г) Повторяемость

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

- a) **Метод конечных элементов**
- b) Метод конечных разностей
- c) Метод граничных элементов
- d) Метод молекулярной динамики

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

- a) **Высокое разрешение**
- b) Высокая скорость
- c) Низкая стоимость
- d) Удобство использования

1.10. Что такое эпитаксиальный рост пленки?

- a) Рост пленки на аморфной подложке.
- b) **Рост пленки, при котором структура пленки повторяет структуру подложки.**
- c) Рост поликристаллической пленки.
- d) Рост монокристаллической пленки на другой монокристалле.

1.11. Что такое тонкая пленка?

- a) **Материал толщиной менее 100 нм.**
- b) Материал, толщина которого сравнима с длиной волны света.
- c) Материал с высокой прозрачностью.
- d) Любой материал, нанесенный на подложку

1.12. Какие методы используются для получения тонких пленок?

- a) 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, антикоррозионные 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 учет 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. Какой механизм роста соответствует случаю, когда пленка растет послойно?
- a) Франка-Ван-дер-Мерве.**
 - b) Волмера-Вебера.
 - c) Странски-Крастанова.
- 1.33. Как называется процесс осаждения пленки из газовой фазы?
- a) Химическое осаждение из паровой фазы.**
 - b) Физическое осаждение из паровой фазы.
 - c) Эпитаксия.
 - d) Молекулярно-лучевая эпитаксия.
- 1.34. В чем заключается различие между химическим и физическим осаждением пленок?
- a) В температуре процесса.
 - b) В давлении газа.
 - c) В природе процессов, происходящих при осаждении.**
 - d) В материале подложки.
- 1.35. Что такое рентгеновская дифрактометрия?
- a) Метод изучения молекулярной структуры
 - b) Метод анализа кристаллической структуры**
 - c) Метод измерения температуры
- 1.36. Какой метод используется для определения кристаллической структуры веществ?
- a) Микроскопия
 - b) Рентгеноструктурный анализ**
 - c) Спектроскопия
 - d) Хроматография
- 1.37. Какой закон лежит в основе рентгеновского дифракционного анализа?
- a) Закон Бойля
 - b) Закон Бревера
 - c) Закон Брэгга**
 - d) Закон Фарадея
- 1.38. В электронном микроскопе для формирования изображения используются пучки:
- a) Протонов
 - b) Фотонов
 - c) Нейтронов
 - d) Электронов**
- 1.39. Разрешение растрового электронного микроскопа зависит от
- a) Диаметра электронного зонда
 - b) Ускоряющего напряжения
 - c) Тока пучка и скорости развертки

d) Всех перечисленных факторов

1.40. Для систем с автоэмиссионными катодами основным препятствием для получения высокого разрешения является

- a) Сферическая абберация
- b) Дифракция электронов
- c) Хроматическая абберация
- d) Размер кроссовера электронной пушки

1.41. Какова зависимость отношения сигнал-шум в растровом электронном микроскопе

от времени сканирования?

- a) Линейная
- b) Корневая
- c) Квадратичная
- d) Обратная корневая

1.42. Методом оже-спектроскопии можно детектировать элементы, начиная с

- a) Водорода
- b) Гелия
- c) Лития
- d) Бериллия

1.43. Какой уровень вакуума необходим для начала работы на просвечивающем микроскопе:

- a) 3×10^{-5} Па;
- b) 5×10^{-7} Па;
- c) 2×10^{-6} Па;
- d) 7×10^{-8} Па;
- e) 2×10^{-4} Па

1.44. Как исправляется астигматизм электромагнитных линз:

- a) Системой специальных катушек- астигматорами;
- b) Применением воздействия на электроны пучка энергетических фильтров;
- c) Использованием рассеивающих электромагнитных линз, у которых противоположная по знаку абберация;
- d) Применением большей ускоряющей разности потенциалов;
- e) Применением более глубокого вакуума.

1.45. Какая спектроскопическая техника используется для определения химического состава и валентного состояния элементов в твёрдых телах?

- a) - Рентгеновская дифракция
- b) - XPS**
- c) - XRF
- d) - EDS

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

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

Ответ: Комптоновским

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

Ответ: Релеевское (или Релеевским)

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

Ответ: Томпсоновским (или Томпсона)

2.4. Что измеряется при рентгеноструктурном анализе?

Ответ: Углы дифракции.

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

Ответ: Рентгеновский дифрактометр

2.6. Какой тип магнитной анизотропии характерен для тонких пленок?

Ответ: Формационная анизотропия

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

Ответ: времени

2.8. Эммитансом называется

Ответ: расходимость пучка электронов (или расходимость пучка)

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

Ответ: ондуляторы, вигглеры, шифтеры

2.10. В синхротронах первого поколения, синхротронное излучение являлось

Ответ: паразитным.

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

Ответ: Счетчик Гейгера

2.12. Траектория заряженных частиц в магнитном поле представляет собой

Ответ: окружность

2.13. Скорость заряженных частиц уменьшается с увеличением

Ответ: заряда частицы

2.14. Какая единица измерения используется для энергии заряженных частиц?

Ответ: Электрон-вольт

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

Ответ: Сканирующий электронный микроскоп

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

Ответ: Ионный ускоритель

2.17. В каких единицах принято измерять давления в вакууме?

Ответ: Торр

2.18. Какие основные механизмы роста пленок вы знаете?

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

2.19. Что такое прозрачность пленки?

Ответ: Способность пропускать электромагнитное излучение.

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

Ответ: Топографию поверхности.

2.21. Какой метод используется для изучения химического состава тонких пленок?

Ответ: Масс-спектрометрия вторичных ионов.

2.22. Какой метод используется для изучения кристаллической структуры тонких пленок?

Ответ: Рентгеновская дифракция.

2.23. При увеличении в 10 000 раз глубина фокуса РЭМ имеет порядок

Ответ:

2.24. В каком году был создан просвечивающий электронный микроскоп:

Ответ: 1932

2.25. Абберация – это ...

Ответ: расфокусировка пучка.

2.26. Напишите два основных типа абберации.

Ответ: Сферическая и хроматическая (или хроматическая и сферическая)

2.27. Какая спектроскопическая техника используется для исследования локальных электронных состояний в наноструктурах?

Ответ: Оже-спектроскопия

2.28. Какой элемент используется в качестве материала для окон детекторов рентгеновского излучения?

Ответ: Бериллий

2.29. Какое явление является причиной уширения рентгеновских линий?

Ответ: Естественная ширина линий.

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

3.1. Опишите принцип работы квадрупольного масс-спектрометра

Ответ:

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

Ответ:

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

Ответ:

3.4. Что такое магнитная анизотропия?

Ответ: Способность магнита создавать вокруг себя магнитное поле

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

Ответ: Эллипсометрия.

3.6. Перечислите виды возбуждений при воздействии электронов на массивном образце.

3.7. Перечислите известные Вам виды генерации процессов в тонком образце.

3.8. Опишите устройство электромагнитных линз.

3.9. Для увеличения отношения сигнал-шум в энергодисперсионном детекторе рентгеновского излучения увеличили ток электронного пучка. Каких «побочных эффектов» при этом можно ожидать

Ответ: Размывания пиков, Появления ложных «двойных пиков», Появления спутанных пиков

3.10. Из каких основных элементов состоит растровый электронный микроскоп:

Ответ: Система эмиссии электронов, система фокусировки, система вакуумирования, система регистрации, персональный компьютер;

3.11. Дайте определение термину «Аберрация сферическая»

Ответ: расфокусировка пучка электронов. Сферическая аберрация вызвана тем, что при прохождении через электромагнитную линзу находящиеся на разном расстоянии от оптической оси системы части пучка с разной силой отклоняются от своей траектории.

3.12. Дайте определение термину «Тормозное рентгеновское излучение»

Ответ: электромагнитное излучение рентгеновского диапазона длин волн, возникающее при кулоновском взаимодействии быстрых электронов с ядрами атомов.

3.13. Что такое Электроны Оже?

Ответ: электроны, эмитированные атомом в безызлучательном процессе при заполнении вакансии во внутренней электронной оболочке этого атома. Эмиссия происходит в основном, с одной из внешних оболочек. Процесс является конкурирующим по отношению к рентгеновской флуоресценции.

3.14. Что такое спектрометр с энергодисперсионным детектором (EDX)?

Ответ: Устройство которое разделяет рентгеновское излучение по энергии

3.15. Что такое электронный газ?

3.16. Что такое магнитная постоянная наночастицы?

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

3.18. Чем отличается ферромагнетизм от антиферромагнетизма?

Ответ: Направлением магнитных моментов соседних атомов

3.19. Что такое синхротронное излучение

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

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 практических занятий

1. Практическое занятие 1. Механизмы зарождения и роста конденсатов в вакууме. Эпитаксия. Критерии прогноза ориентации пленок на ориентирующих подложках.
2. Практическая работа 2. Выбор подложки, пробоподготовка и определение условий для синтеза пленки методом магнетронного распыления, методом газофазного синтеза и методом анодного окисления
3. Практическая работа 3. Исследование параметров пленок: толщины пленки, структуры пленки, механических характеристик.

Перечень вопросов для опросов.

- 1 Размерный эффект структуры и свойств в тонких пленках
- 2 Стадии роста пленки: образование зародышей и островковой структуры; коалесценция островков; образование лабиринтной структуры; формирование компактной пленки.
- 3 Методы получения тонких пленок
- 4 Свойства тонких пленок. Проявления размерного эффекта механических, электрических, магнитных, теплофизических, оптических свойств
- 5 Методы контроля твердости и прочности тонких пленок.
- 6 Методы контроля макро- и микронапряжений тонких пленок.
- 7 Ионно-плазменное, реактивное ионно-плазменное распыление и конденсация в вакууме.
- 8 Катодное распыление. Магнетронные методы нанесения конденсированных слоев. Ионно-лучевое распыление.
- 9 Химические, физико-химические методы нанесения. Золь-гель метод. Химическое осаждение из парогазовой фазы. Плазмохимическое осаждение.
- 10 Ориентированная кристаллизация пленок.
- 11 Зарождение и рост тонких пленок по механизму Фольмера и Вебера
- 12 Кинетика зарождения и роста тонких пленок.
- 13 Технологические особенности синтеза гетероструктур: использование многокомпонентных твердых растворов для согласования параметров решетки.
- 14 Структура и субструктура тонких пленок.
- 15 Зарождение и рост тонких пленок по механизму Франка и Ван дер Мерве.
- 16 Метод эпитаксии из молекулярных пучков
- 17 Структурные и субструктурные превращения при росте пленок.
- 18 Метод газофазной эпитаксии из паров металлоорганических соединений
- 19 Зарождение и рост тонких пленок по механизму Странского и Крастанова.

20.2 Промежуточная аттестация

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

Перечень вопросов к промежуточной аттестации

1. Основные типы тонких пленок.
2. Материалы подложек. Свойства подложек. Требования, предъявляемые к подложкам.
3. Поверхность подложек. Сорбция и десорбция. Очистка подложек.
4. Процессы формирования пленок. Зародышеобразование. Зародышевый рост пленок.
5. Послойный и спиральный рост пленок.
6. Процессы роста эпитаксиальных слоев. Критерии прогноза ориентации.
7. Рост пленок по Фольмеру и Веберу. Кинетика зарождения и роста, структура, субструктура.
8. Рост по Франку и Ван дер Мерве. Структурные и субструктурные превращения при росте пленок.
9. Рост по Странскому и Крастанову.
10. Низкоразмерные монокристаллы. Немонокристаллические структуры.
11. Образование дефектов роста пленок.
12. Напыление пленок термическим способом.
13. Синтез пленок с помощью электронного луча.

14. Осаждение пленок с помощью ионного распыления.
15. Магнетронные напылительные системы. Описание метода магнетронного напыления. Магнетронные установки.
16. Химические способы осаждения пленок.
17. Электрохимические методы формирования пленок: электролитический способ осаждения пленок; электрофоретические покрытия.
18. Приготовление пленок с помощью лазера.
19. Обработка пленок. Создание пленочных изделий.
20. Литография.
21. Устройства по контролю роста пленок.
22. Измерение толщины пленок.
23. Адгезия и методы ее измерения.
24. Влияние подложки на характеристики пленки.
25. Механические характеристики пленок.
26. Анализ структуры пленок.
27. Электрофизические свойства пленок проводников. Пленки проводников. Тонкопленочные резисторы.
28. Тонкие пленки диэлектриков.

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 «Физика тонких пленок в нанотехнологиях» используются следующие критерии:

- уровень профессиональной подготовки;
- качество и своевременность выполнения практических заданий;
- 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 «Физика тонких пленок в нанотехнологиях».

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	Повышенны й, 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 «Физика тонких пленок в нанотехнологиях» 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.