

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.ДВ.02.02 Физика твердотельных наноструктур

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: *Требунских Сергей Юрьевич, к.ф.-м.н.*
7. Рекомендована: *НМС физического факультета протокол №5 от 22.05.2024*
8. Учебный год: **2025-2026** Семестр: **1**

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Формирование у студентов комплекса знаний, умений и навыков, необходимых при решении теоретических и практических задач, возникающих в научно-практическом направлении, сформировавшемся на стыке трех наук - физики твердого тела, микроэлектроники, физики полупроводниковых приборов.

Задачи учебной дисциплины:

- усвоение основных принципов физических явлений и закономерностей, положенных в основу работы различных приборов и устройств твердотельной микроэлектроники, ознакомление с их конструкциями, технологией изготовления и областями применения;
- приобретение студентами навыков использования теоретических знаний в практической деятельности;
- освоение понятийного аппарата (терминологию) дисциплины, физических принципов работы твердотельных микроэлектронных структур, являющихся основными составными элементами приборов и интегральных схем;
- формирование навыков применения теоретических знания о физических свойствах наноэлектронных систем для решения практических задач, связанных с проектированием и разработкой приборов и устройств твердотельной микроэлектроники;
- овладение навыками подбора материалов с заданными электрофизическими свойствами для проектирования твердотельных структур, используемых в функциональной электронике.

10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП: дисциплина относится к дисциплинам по выбору части, формируемой участниками образовательных отношений, блока Б1 «Дисциплины и модули».

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-2	Осуществляет предметный анализ актуальных направлений научно-инновационной деятельности в области нанотехнологий для организации и координации работ в направлении от фундаментальных исследований к практическому применению	ПК-2.3	Определяет направления и пути эффективного развития нанотехнологий на основе предметного анализа в области практического применения функциональных материалов и структур на их основе	Знать: - основные этапы развития нанотехнологий, свойства твердотельных наноструктур и применение их в нанотехнологии; Уметь: - определять особенности материалов и структур для их дальнейшего применения в нанотехнологии; Владеть: - навыками выявления особенностей твердотельных наноструктур для эффективного применения данных структур в области нанотехнологии;
ПК-4	Готов проводить на современном мировом уровне все составные части фундаментальных, поисковых и прикладных работ в области нанотехнологий и смежных направлений, в том числе с использованием синхротронных технологий	ПК-4.1	Осуществляет все этапы выполнения научно-исследовательских, поисковых и прикладных работ в области нанотехнологий функциональных материалов и структур на их основе	Знать: - современные методы научного анализа; Уметь: - проводить экспериментальные исследования объектов нанотехнологии; критически оценивать и интерпретировать экспериментальные результаты; Владеть: - методами научного анализа, проведения исследований и представления результатов исследований; программными продуктами оформления и представления результатов исследования.

ПК-5	Способен определять и обоснованно прогнозировать основные направления научно-технологического развития основных отраслей региона в масштабе связанного территориального развития страны на пересечении отраслей, использующих научные, технические и технологические результаты нанотехнологий	ПК-5.3	Обоснованно оптимально использует технологические и диагностические возможности региональных научных центров и предприятий в научной и инновационной деятельности национального и международного уровней	Знать: - явления, лежащие в основах производства и эксплуатации твердотельных наноструктур для устройств нанотехнологии; Уметь: - выявлять особенности физико-химических свойств твердотельных наноструктур для применения их в нанотехнологии; Владеть: - навыками решения задач в области нанотехнологии с использованием твердотельных наноструктур.
------	--	--------	--	---

12 Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 3/108

Форма промежуточной аттестации - зачет с оценкой

13 Трудоёмкость по видам учебной работы:

Вид учебной работы	Трудоёмкость (часы)	
	Всего	По семестрам
		1 сем.
Аудиторные занятия	30	30
в том числе: лекции	30	30
Самостоятельная работа	78	78
Форма промежуточной аттестации – зачет с оценкой		
Итого:	108	108

13.1. Содержание разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1. Лекции		
1	Введение. Предмет курса, его определение Контакт металл-полупроводник	Введение. Предмет курса, его определение. Классификация дискретных полупроводниковых приборов и элементов ИС. Основные тенденции и перспективы развития. Диоды с контактом металл-полупроводник. Вольт-амперные характеристики диодов с контактом Шоттки.
2	Полупроводниковые диоды. Лавинные и туннельные диоды.	Полупроводниковые диоды. Физический p-n переход, контактная разность потенциалов. Диффузионная емкость, зависимость от частоты переменного сигнала. Виды пробоя p-n переходов: тепловой, туннельный, лавинный. Лавинно-пролетные диоды. Лавинно-пролетный режим работы и режим с захваченной

		плазмой. Туннельные и обращенные диоды. Особенности вольт-амперных характеристик
3	Биполярные транзисторы Динисторы и тиристоры	Биполярные транзисторы. Транзистор как усилитель мощности. Схемы включения с общей базой и общим эмиттером. Зонная диаграмма транзистора в нормальном активном режиме. Биполярные транзисторы с гетеропереходами и варизонной базой. Динисторы и тиристоры. Вольт-амперные характеристики динистора в прямом и обратном направлениях. Вольт-амперные характеристики тиристора.
4	Полевые транзисторы	Полевые транзисторы. Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом. Принцип действия. Расчет входных вольт-амперных характеристик полевого транзистора с управляющим р-п переходом. Полевые транзисторы с изолированным затвором (МДП транзисторы). МДП транзисторы со встроенным и индуцированным каналами. Особенности применения МДП транзисторов в БИС.
5	ПЗС и приборы на основе объемных эффектов	Полупроводниковые приборы с зарядовой связью (ПЗС). Принцип действия и основные параметры. Приборы на основе объемных эффектов. Принцип действия и режим работы диодов Ганна (при наличии доменов сильного поля с ограничением накопления объемного заряда).

13.2. Разделы дисциплины и виды занятий:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)		
		Лабораторные работы	Самостоятельная работа	Всего
1	Введение. Предмет курса, его определение Контакт металл-полупроводник	4	10	14
2	Полупроводниковые диоды. Лавинные и туннельные диоды.	4	10	14
3	Биполярные транзисторы Динисторы и тиристоры	4	10	14
4	Полевые транзисторы	8	22	30
5	ПЗС и приборы на основе объемных эффектов	10	24	34
	Итого:	30	78	108

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Изучение дисциплины «Физика твердотельных наноструктур» предусматривает осуществление учебной деятельности, состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем (лекции) 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 с оценкой 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

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.

Самостоятельная работа обучающихся при изучении «Физика твердотельных наноструктур» включает в себя:

изучение теоретической части курса	- 38 часов
подготовку к зачету с оценкой	- 40 часов
итого - 78 часов	

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

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Фомин, Д. В. Экспериментальные методы физики твердого тела : учебное пособие : / Д. В. Фомин. – Изд. 2-е, стер. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2019. – 187 с.
2	Сарина, М. П. Физика твердого тела : учебное пособие : / М. П. Сарина ; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2017. – 107 с.
3	Гуртов, В. А. Физика твердого тела для инженеров : учебное пособие / В. А. Гуртов, Р. Н. Осауленко ; науч. ред. Л. А. Алешина. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Техносфера, 2012. – 560 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
5	Кригер, В. Г. Избранные главы химии твердого тела : учебное пособие : [12+] / В. Г. Кригер, А. В. Каленский, М. В. Ананьева ; Кемеровский государственный университет. – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2014. – 139 с.
6	Элементы физики твёрдого тела : учебное пособие : / сост. В. Я. Чечуев, С. В. Викулов, И. М. Дзю. – Новосибирск : Новосибирский государственный аграрный университет, 2012. – 160 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	Физика твердого тела : учебное пособие : / А. А. Корнилович, В. И. Ознобихин, И. И. Суханов, В. Н. Холявко. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2012. – 71 с.

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины:

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии по образовательным формам: 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.

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
-------	---------------------------------	-------------	-----------------------------------	--------------------

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Оценочные средства
1	Введение. Предмет курса, его определение Контакт металл-полупроводник	ПК-2, ПК-4, ПК-5	ПК-2.3, ПК-4.1, ПК-5.3	Опрос
2	Полупроводниковые диоды. Лавинные и туннельные диоды.	ПК-2, ПК-4, ПК-5	ПК-2.3, ПК-4.1, ПК-5.3	Опрос
3	Биполярные транзисторы Динисторы и тиристоры	ПК-2, ПК-4, ПК-5	ПК-2.3, ПК-4.1, ПК-5.3	Опрос
4	Полевые транзисторы	ПК-2, ПК-4, ПК-5	ПК-2.3, ПК-4.1, ПК-5.3	Опрос
5	ПЗС и приборы на основе объемных эффектов	ПК-2, ПК-4, ПК-5	ПК-2.3, ПК-4.1, ПК-5.3	Опрос. Текущая аттестация
Промежуточная аттестация: форма контроля – зачет с оценкой				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 и 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. Какой механизм роста соответствует случаю, когда пленка растет послойно?

- a) **Франка-Ван-дер-Мерве.**
- b) Волмера-Вебера.
- c) Странски-Крастанова.

1.12. 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.

- 1.3. 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.
- 1.4. Что такое рентгеновская дифрактометрия?
- a) Метод изучения молекулярной структуры
 - b) Метод анализа кристаллической структуры**
 - c) Метод измерения температуры
- 1.5. Какой метод используется для определения кристаллической структуры веществ?
- a) Микроскопия
 - b) Рентгеноструктурный анализ**
 - c) Спектроскопия
 - d) Хроматография
- 1.6. Какой закон лежит в основе рентгеновского дифракционного анализа?
- a) Закон Бойля
 - b) Закон Бревера
 - c) Закон Брэгга**
 - d) Закон Фарадея
- 1.7. В электронном микроскопе для формирования изображения используются пучки:
- a) Протонов
 - b) Фотонов
 - c) Нейтронов
 - d) Электронов**
- 1.8. Разрешение растрового электронного микроскопа зависит от
- a) Диаметра электронного зонда
 - b) Ускоряющего напряжения
 - c) Тока пучка и скорости развертки
 - d) Всех перечисленных факторов
- 1.9. 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
- 1.10. Какова зависимость отношения сигнал-шум в растровом электронном микроскопе от времени сканирования?
- a) Линейная
 - b) Корневая
 - c) Квадратичная
 - d) Обратная корневая

- 1.11. Методом оже-спектроскопии можно детектировать элементы, начиная с
- Водорода
 - Гелия
 - Лития
 - Бериллия
- 1.12. Какой уровень вакуума необходим для начала работы на просвечивающем микроскопе:
- 3×10^{-5} Па;
 - 5×10^{-7} Па;
 - 2×10^{-6} Па;
 - 7×10^{-8} Па;
 - 2×10^{-4} Па
- 1.13. Как исправляется астигматизм электромагнитных линз:
- Системой специальных катушек- астигматорами;
 - Применением воздействия на электроны пучка энергетических фильтров;
 - Использованием рассеивающих электромагнитных линз, у которых противоположная по знаку аберрация;
 - Применением большей ускоряющей разности потенциалов;
 - Применением более глубокого вакуума.
- 1.14. Какая спектроскопическая техника используется для определения химического состава и валентного состояния элементов в твёрдых телах?
- Рентгеновская дифракция
 - XPS**
 - XRF
 - EDS
- 1.15. Зоной Бриллюэна называется:
- Длина волны электрона, движущегося в кристаллической структуре, определяемая отношением постоянной Планка к произведению эффективной массы электрона и его скорости
 - Области значений волнового вектора, k в пределах которых энергия электрона $E(k)$ являющаяся периодической функцией, k испытывает полный цикл своего изменения.**
 - энергетический уровень изолированного атома в кристалле
- 1.16. Какой тип нанобиогибридов используется для доставки лекарственных средств?
- Наночастицы с лекарственной нагрузкой**
 - Иммобилизованные ферменты
 - Биосенсоры
 - Нанонити
- 1.17. Какой метод позволяет оценить биосовместимость нанобиогибридов?
- Цитотоксичность**
 - Электронная микроскопия
 - Спектроскопия
 - Электрохимия

- 1.18. Какой из перечисленных объектов НЕ является нанобиогибридным?
- a) **Нанокристаллы**
 - b) Липосомы
 - c) ДНК-оригами
 - d) Нанопровода из белка
- 1.19. Что является источником рентгеновского излучения в рентгеновской трубке?
- a) Электронная пушка
 - b) **Анодная мишень**
 - c) Лазер
 - d) Радиоактивный источник
- 1.20. Какое из следующих применений рентгеновской спектроскопии является наиболее распространенным?
- a) Анализ элементного состава материалов
 - b) **Анализ структуры материалов**
 - c) Анализ химического состава материалов
 - d) Анализ толщины материалов
- 1.21. Какие типы спектров существуют?
- a) Линейчатые, полосатые и непрерывные.
 - b) Оптические, рентгеновские и гамма-спектры.
 - c) Ультрафиолетовые, инфракрасные и видимые.
 - d) **Все вышеперечисленные варианты верны.**
- 1.22. Какое излучение используется в ультрафиолетовой спектроскопии?
- a) Инфракрасное излучение.
 - b) Видимое излучение.
 - c) Рентгеновское излучение.
 - d) **Ультрафиолетовое излучение.**
- 1.23. В чем заключается принцип действия масс-спектрометрического метода?
- a) **В разделении частиц по их массе при помощи электрического поля.**
 - b) В измерении интенсивности поглощения света веществом.
 - c) В исследовании магнитных свойств ядер атомов.
 - d) В изучении электронных переходов в молекулах.
- 1.24. Чем характеризуется флуоресцентная спектроскопия?
- a) **Поглощением фотонов и последующим испусканием квантов света меньшей энергии.**
 - b) Измерением времени жизни возбужденных состояний атомов и молекул.
 - c) Исследованием колебаний молекул под действием внешних полей.
 - d) Анализом распределения зарядов внутри атомов и молекул.
- 1.25. Что такое комбинационное рассеяние света (эффект Рамана)?
- a) **Изменение частоты падающего света при взаимодействии с веществом за счет передачи энергии от молекулы к световому кванту.**
 - b) Явление отражения света от поверхности вещества.
 - c) Процесс изменения поляризации света при прохождении через вещество.
 - d) Рассеяние света на микроскопических неоднородностях среды.
- 1.26. Какой тип спектральных линий характерен для атома водорода?

- a) Полосатый спектр.
- b) Линейчатый спектр.**
- c) Непрерывный спектр.
- d) Гамма-спектр.

1.27. Какие частицы являются источником синхротронного излучения в современных источниках?

- a) Протоны.
- b) Электроны.**
- c) Позитроны.
- d) Нейтроны.

1.28. Что такое ондулятор?

- a) Устройство для создания переменного магнитного поля, используемое для генерации синхротронного излучения.**
- b) Тип ускорителя частиц, основанный на использовании электромагнитных полей.
- c) Детектор для регистрации синхротронного излучения.
- d) Источник питания для управления работой синхротрона.

1.29. Сканирующая электронная микроскопия позволяет исследовать объекты диапазон размеров структурных элементов которых находится в пределах ...

- a) от 1 нм до 1 ангстрема
- b) от 0,1 нм до 1 мкм
- c) от 0,01 мкм до 1000 мкм**
- d) от 1 мкм до 1000мкм

1.30. Просвечивающая электронная микроскопия позволяет исследовать объекты диапазон размеров структурных элементов которых находится в пределах ...

- a) от 1 нм до 1 ангстрема
- b) от 0,1 нм до 1 мкм**
- c) от 0,01 мкм до 1000 мкм
- d) от 1 мкм до 1000мкм

1.31. Оптическая микроскопия позволяет исследовать объекты диапазон размеров структурных элементов которых находится в пределах ...

- a) от 1 нм до 1 ангстрема
- b) от 0,1 нм до 1 мкм
- c) от 0,01 мкм до 1000 мкм
- d) от 1 мкм до 1000мкм**

1.32. От каких факторов зависит яркость и контрастность изображения, получаемого методом РЭМ

- a) «формы» пучка электронов, падающих на образец и характера взаимодействия электронов с образцом;
- b) типа используемого детектора и физических процессов, происходящих в нем;
- c) локального состава в области сканирования и топографии поверхности образца в исследуемой области.
- d) все из вышеперечисленного.**

1.33. При помощи каких инструментов возможно Наноманипулирование (управление отдельными атомами или молекулами).

- a) Магнитный пинцет,
- b) оптический пинцет

- c) АСМ
- d) **все вышеперечисленное**

1.34. Размерный эффект – это

- a) **зависимость свойств тела от его размера.**
- b) влияние размера тела на его проводимость
- c) влияние внешних факторов на размер тела

1.35. Какая из перечисленных ниже граничных условий наиболее часто используется в моделировании микро- и наносистем?

- a) **Граничное условие Дирихле**
- b) Граничное условие Неймана
- c) Граничное условие Коши
- d) Граничное условие периодичности

1.36. Какой из перечисленных ниже методов контроля наиболее часто используется для измерения толщины нанопленки?

- a) **Эллипсометрия**
- b) Атомно-силовая микроскопия
- c) Рентгеновская дифракция
- d) Просвечивающая электронная микроскопия

1.37. Какая из перечисленных ниже характеристик является преимуществом атомно-силовой микроскопии?

- a) **Возможность визуализации топографии поверхности**
- b) Высокое разрешение
- c) Возможность измерения механических свойств
- d) Неразрушающий характер

1.38. Какой метод контроля наиболее подходит для измерения электрических свойств наноструктур?

- a) **Измерение проводимости**
- b) Измерение емкости
- c) Измерение индуктивности
- d) Измерение импеданса

1.39. Какая из перечисленных ниже характеристик является недостатком просвечивающей электронной микроскопии?

- a) **Необходимость подготовки тонких образцов**
- b) Высокое разрешение
- c) Возможность химического анализа
- d) Возможность трехмерной визуализации

1.40. Какой метод контроля наиболее подходит для измерения механических свойств наноструктур?

- a) **Наноиндентирование**
- b) Измерение твердости
- c) Измерение модуля упругости
- d) Измерение прочности на разрыв

1.41. Какая из перечисленных ниже характеристик является преимуществом рамановской спектроскопии?

- a) **Возможность идентификации химических связей**
- b) Высокая чувствительность
- c) Неразрушающий характер
- d) Возможность измерения толщины пленки

1.42. Какой метод контроля наиболее подходит для измерения магнитных свойств наноструктур?

- a) **Магнитно-силовая микроскопия**
- b) Измерение намагниченности
- c) Измерение магнитной восприимчивости
- d) Измерение коэрцитивной силы

1.43. Какая из перечисленных ниже характеристик является недостатком сканирующей зондовой микроскопии?

- a) **Низкая скорость**
- b) Высокое разрешение
- c) Возможность измерения различных свойств
- d) Неразрушающий характер

1.44. Какой метод контроля наиболее подходит для измерения оптических свойств наноструктур?

- a) **Спектроскопия пропускания**
- b) Спектроскопия отражения
- c) Спектроскопия поглощения
- d) Спектроскопия люминесценции

1.45. Какая из перечисленных ниже характеристик является преимуществом рентгеновской дифракции?

- a) **Возможность измерения кристаллической структуры**
- b) Высокое разрешение
- c) Неразрушающий характер
- d) Возможность измерения толщины пленки

1.46. 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

1.47. Какая из перечисленных ниже программ САПР наиболее широко используется в наноинженерии?

- a) **COMSOL**
- b) AutoCAD
- c) SolidWorks
- d) ANSYS

1.48. Какой тип сетки наиболее подходит для моделирования микро- и наносистем?

- a) **Структурированная сетка**
- b) Неструктурированная сетка
- c) Гибридная сетка
- d) Адаптивная сетка

1.49. Какой параметр сетки является наиболее важным для обеспечения точности моделирования?

- a) **Размер элемента**
- b) Форма элемента
- c) Ориентация элемента
- d) Количество элементов

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

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

Ответ: Масс-спектрометрия вторичных ионов.

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

Ответ: Рентгеновская дифракция.

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

Ответ:

2.4. В каком году был создан просвечивающий электронный микроскоп:

Ответ: 1932

2.5. Абберация – это ...

Ответ: расфокусировка пучка.

2.6. Напишите два основных типа абберации.

Ответ: Сферическая и хроматическая (или хроматическая и сферическая)

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

Ответ: Оже-спектроскопия

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

Ответ: Бериллий

2.9. Какое явление является причиной уширения рентгеновских линий?

Ответ: Естественная ширина линий.

2.10. Куда отправляется пучок электронов после попадания в стигматор в случае электронной микроскопии?

Ответ: на образец

2.11. В общем случае зоны, образованные отдельными уровнями, могут перекрываться, образуя...

Ответ: гибридную зону.

2.12. Какой спектроскопический метод используется для определения химического состава нанобиогибридных материалов?

Ответ: Инфракрасная спектроскопия

2.13. Примесные полупроводники, это полупроводники проводимость которых обусловлена...

Ответ: электронами атомов примеси

2.14. При низких температурах энергия тепловых колебаний решетки значительно меньше ширины ...

Ответ: запрещенной зоны

2.15. В чем состоит особенность применения методов исследования для наноматериалов?

Ответ: однако у наноматериалов существует особая специфика, которая заключается в предъявлении повышенных требований к разрешающей способности методов, а именно возможность исследовать участки поверхности образцов с размерами менее 100-200 нм

2.16. Тип лазера получил наибольшее применение в промышленных масштабах?

Ответ: Наибольшее применение в промышленных масштабах получили углекислотные лазеры (CO₂), а также твердотельные дисковые, волоконные, диодные и Nd:YAG лазеры.

2.17. Что является основным фактором, влияющим на ширину газопорошковой струи после выхода из сопла?

Ответ: Основным фактором, влияющим на ширину газопорошковой струи после выхода из сопла, является ширина щели сопла. Во время движения по каналу сопла порошинки испытывают соударения со стенками канала, при которых теряют часть нормальной по отношению к стенке скорости.

2.18. Дайте определение термину «функциональные материалы»

Ответ: материалы, обладающие определённым уровнем физико-химических и механических свойств, которые в совокупности обеспечивают использование этих материалов в качестве рабочего элемента или детали в определённом устройстве, приборе или конструкции, материалы, обладающие функцией.

2.19. Перечислите методы контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств

Ответ: Оптический контроль, Контроль физических свойств (измерение сопротивления, магнитных свойств), Аналитические методы, Сканирующая электронная микроскопия, Сканирующая туннельная микроскопия, Рентгеновская дифракция, Методы электронной спектроскопии.

2.20. Что такое миниатюризация?

Ответ: уменьшение размеров и массы элементов, приборов, устройств в результате усовершенствования их конструкции, технологий изготовления.

2.21. Дайте определение термину «Эксперимент»

Ответ: метод исследования, при помощи которого происходит активное и целенаправленное восприятие определенного объекта в контролируемых и управляемых условиях.

2.22. Дайте определение термину «Идеализация»

Ответ: метод исследования, состоящий в мысленном конструировании представления об объекте путем исключения условий, необходимых для его реального существования. По сути, идеализация представляет собой разновидность процедуры абстрагирования, конкретизированной с учетом потребностей теоретического исследования. Результатами такого конструирования являются идеализированные объекты.

2.23. Чему равен диапазон длин волн рентгеновского излучения?

Ответ: $10^{-2} - 10^2$ ангстрем или $10^{-3} - 10$ нм

2.24. Сформулируйте условие Вульфа-Брегга.

Ответ: $n\lambda = 2d\sin\theta$, где n – целое число, описывающее порядок дифракционного отражения, λ – длина волны, d – межплоскостное расстояние между отражающими плоскостями, θ – угол, который составляет падающий или дифрагированный луч с отражающей плоскостью.

2.25. Перечислите основания для классификации лазеров?

Ответ: 1) агрегатное состояние их активной среды (газовые, твердотельные, жидкостные, полупроводниковые); 2) метод накачки (газоразрядные, газодинамические химические, инъекционные); 3) временной режим генерации (непрерывные, импульсные, импульсно–периодические); 4) частотный режим генерации (одночастотные, одно и многомодовые); 5) уровень выходной мощности (энергии) излучения; 6) эксплуатационные характеристики (КПД, уровень потребляемой мощности, массогабаритные параметры)

2.26. Что такое Самосборка?

Ответ: процесс конструирования наноматериалов по принципу «снизу-вверх», основанный на самоорганизованном формировании различных нанобъектов.

2.27. Дайте определение термину «Автосборка»

Ответ: процесс конструирования наноматериалов по принципу «снизу-вверх», основанный на механосинтезе и выполняемый с использованием некоторой автоматизированной системы по заданной программе.

2.28. Суть подхода «сверху-вниз» к созданию планируемых изделий.

Ответ: подход «сверху-вниз» основан на уменьшении размеров физических тел механической или ионной обработкой, вплоть до получения объектов с ультрамикроскопическими, нанометровыми параметрами.

2.29. В чем преимущества метода прямой лазерной наплавки?

Ответ: в сравнении с технологиями селективного лазерного спекания и сплавления, а также традиционными технологиями заключаются в отсутствии необходимости дополнительного изостатического прессования или термической обработки изделий, изготовленных методом наплавки, что существенно сокращает время их изготовления.

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

3.1. Перечислите от каких факторов зависит яркость и контрастность изображения, получаемого методом РЭМ

Ответ: «формы» пучка электронов, падающих на образец и характера взаимодействия электронов с образцом; типа используемого детектора и

физических процессов, происходящих в нем; локального состава в области сканирования и топографии поверхности образца в исследуемой области.

3.2. Что такое конденсорная линза в РЭМ

Ответ: устройство необходимое для фокусировки электронного пучка, оно состоит из электромагнитов с сердечниками специальной формы, которые создают на пути электронного пучка неоднородное магнитное поле. При этом силы Лоренца, действующие на летящие электроны, смещают их к геометрической оси пучка.

3.3 Что такое Стигматор

Ответ: это устройство, являющееся частью электронного микроскопа, которое содержит несколько электромагнитов с сердечниками специальной формы. Неоднородное магнитное поле стигматора имеет такую конфигурацию, что соответствующие силы Лоренца превращают овальное сечение пучка в круговое.

3.4 Что называется Коэффициентом увеличения?

Ответ: отношение длины какого-либо отрезка на фотографии (на изображении) к истинной длине этого же отрезка на образце.

3.5. Какие факторы влияют на проявление поверхностных явлений в наночастицах?

Ответ: На проявление поверхностного эффекта в наночастице влияют её размер, форма и окружающая среда, например, температура.

3.6. 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.

3.7. Дайте определение термину «Тормозное рентгеновское излучение»

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

3.8. 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.

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

Ответ: Устройство которое разделяет рентгеновское излучение по энергии

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

3.11. Из каких основных элементов состоит растровый электронный микроскоп:

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

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

3.13. Опишите устройство электромагнитных линз.

3.14. 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

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».

20.2 Промежуточная аттестация

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

Перечень вопросов к промежуточной аттестации

1. Классификация дискретных полупроводниковых приборов и элементов ИС. Основные тенденции и перспективы развития.
2. Диоды с контактом металл-полупроводник. Вольт-амперные характеристики диодов с контактом Шоттки.

3. Полупроводниковые диоды.
4. Физический р-п переход, контактная разность потенциалов. Диффузионная емкость, зависимость от частоты переменного сигнала.
5. Виды пробоя р-п переходов: тепловой, туннельный, лавинный.
6. Лавинно-пролетные диоды. Лавинно-пролетный режим работы и режим с захваченной плазмой.
7. Туннельные и обращенные диоды. Особенности вольт-амперных характеристик.
8. Биполярные транзисторы. Транзистор как усилитель мощности. Схемы включения с общей базой и общим эмиттером.
9. Зонная диаграмма транзистора в нормальном активном режиме
10. Биполярные транзисторы с гетеропереходами и варизонной базой.
11. Динисторы и тиристоры. Вольт-амперные характеристики динистора в прямом и обратном направлениях. Вольт-амперные характеристики тиристора.
12. Полевые транзисторы. Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом. Принцип действия. Расчет входных вольт-амперных характеристик полевого транзистора с управляющим р-п переходом.
13. Полевые транзисторы с изолированным затвором (МДП транзисторы). МДП транзисторы со встроенным и индуцированным каналами. Особенности применения МДП транзисторов в БИС.
14. Полупроводниковые приборы с зарядовой связью (ПЗС). Принцип действия и основные параметры. Приборы на основе объемных эффектов.
15. Принцип действия и режим работы диодов Ганна (при наличии доменов сильного поля с ограничением накопления объемного заряда).

Описание технологии проведения промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация по дисциплине – зачет с оценкой. В приложение к диплому вносится оценка *отлично/хорошо/удовлетворительно*.

Оценка уровня освоения дисциплины «Физика твердотельных наноструктур» осуществляется по следующим показателям:

- качество ответов при опросе на занятиях;
- выполнение лабораторных работ;
- полнота ответов на вопросы к зачету;
- полнота ответов на дополнительные вопросы.

Критерии оценки освоения дисциплины «Физика твердотельных наноструктур»:

– оценка *отлично* выставляется при полном соответствии работы студента вышеуказанным показателям. Соответствует высокому (углубленному) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы полностью, проявляются и используются систематически, в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей повышенный (продвинутой) уровень;

– оценка *хорошо* выставляется в случае, если работа студента при освоении дисциплины не соответствует одному из перечисленных показателей. Соответствует повышенному (продвинутому) уровню сформированности компетенций: компетенции в целом сформированы, но проявляются и используются фрагментарно, не в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей пороговый (базовый) уровень;

– оценка *удовлетворительно* выставляется в случае, если работа студента при освоении дисциплины не соответствует любым двум из перечисленных показателей. Соответствует пороговому (базовому) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы в общих чертах, проявляются и

используются ситуативно, частично. Данный уровень обязателен для всех осваивающих основную образовательную программу;

– оценка *неудовлетворительно* выставляется в случае несоответствия работы студента всем показателям, его неорганизованности, безответственности и низкого качества работы при выполнении лабораторных работ, предусмотренных программой дисциплины.

Факт невыполнения требований, предъявляемых к студенту при освоении дисциплины «Физика твердотельных наноструктур» и отраженных в вышеперечисленных критериях, фиксируется в ведомости оценкой *неудовлетворительно*.

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.