

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.О.08. Физические основы нанотехнологий

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: *Титова София Сергеевна*
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 основных знаний отрасли нанотехнологий. Формирование знаний о физических законах и явлениях, на которых основано функционирование элементов современной микро- и нанотехнологии.

Задачи учебной дисциплины:

- получение у обучающихся представлений о элементах зонной теории твердых тел;
- знакомство с существующими моделями, теориями различных физических явлений нанотехнологии;
- формирование у обучающихся представлений, умений и навыков о статистическом распределении электронов и дырок в полупроводниках;
- изучение электрофизических свойств р–п-переходов и структур металл–диэлектрик–полупроводник, основных принципов работы полевых транзисторов.
- изучение явлений и процессов в наноструктурах, использующихся при разработке элементов и приборов нанотехнологии;
- формирование навыков применения теоретических знания о физических свойствах нанотехнологических систем для исследования важнейших физических процессов и явлений, составляющих фундаментальную основу нанотехнологии;
- овладение навыками расчета параметров и характеристик приборов и устройств нанотехнологии, выбора экспериментальных методов исследования, соответствующих поставленным задачам.

10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП: Учебная дисциплина «Физические основы нанотехнологии» относится к обязательной части блока Б1.

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)	
ОПК-1	Способен ставить и решать инженерные и научно-технические задачи в области нанотехнологии и новых междисциплинарных направлениях на основе естественнонаучных и математических моделей	ОПК-1.1	Умеет ставить цели и формулировать задачи, связанные с организацией профессиональной деятельности и научных исследований; анализировать результаты исследований, включая построение математических моделей объекта исследований	Знать: - явления и процессы в наноструктурах, использующихся при разработке элементов и приборов нанотехнологии; Уметь: - выявлять естественнонаучную сущность проблем в профессиональной сфере; Владеть: - методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; - методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий
		ОПК-1.3	Оценивает эффективность выбранных методов и способов реше-	

			ния задач в области нанотехнологий и новых междисциплинарных направлениях на основе естественнонаучных и математических моделей	рии; - методы и способы решения задач в сфере нанотехнологий; <i>Уметь:</i> - оценивать эффективность выбранных методов и способов решения задач в профессиональной сфере; <i>Владеть:</i> - методами и способами решения задач в профессиональной сфере деятельности; - навыками расчета параметров и характеристик приборов и устройств нанотехнологий, выбора экспериментальных методов исследования, соответствующих поставленным задачам
--	--	--	--	---

12 Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 4/144

Форма промежуточной аттестации - экзамен

13 Трудоемкость по видам учебной работы:

Вид учебной работы	Трудоемкость (часы)	
	Всего	По семестрам
		1 сем.
Аудиторные занятия	60	60
в том числе: лекции	30	30
практические	30	30
Форма промежуточной аттестации - экзамен	36	36
самостоятельная работа	48	48
Итого:	144	144

13.1. Содержание разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1. Лекции		
1.1	Введение. Основные понятия нанотехнологий.	Основные понятия нанотехнологий. Элементы квантовой механики, математической статистики для расчета наноструктур. Поверхностные явления. Понятие потенциального барьера. Элементы спинтроники. Элементы зонной теории твердых тел.
1.2	Основные структуры нанотехнологий.	Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Контактные явления. p-n- переход. Гетеропереход. Гетероструктуры. МДП-структуры.
1.3	Микросистемные датчи-	Понятие микросистемных датчиков. Элементы и узлы мик-

	ки физических величин. Пьезоэффект.	росистемных датчиков. Пьезоэффект и использование его в микросистемной технике.
1.4	Электростатический и акустический эффекты.	Электростатический эффект и использование его в наноэлектронике. Поверхностные акустические волны и использование их в микросистемной технике.
1.5	Подходы оптимизации характеристик приборов наноинженерии	Процессы, использующиеся при разработке элементов и приборов наноинженерии. Подходы к оптимизации процедур создания наноразмерных структур.
2. Практические занятия		
2.1	Введение. Основные понятия наноинженерии.	Практическое занятие 1,2. Соотношение неопределенностей Зонные энергетические диаграммы.
2.2	Основные структуры наноэлектроники	Практическое занятие 3,4,5,6 Контактные явления в кристаллических структурах. Энергетическое состояние микрочастицы в потенциальной яме.
2.3	Микросистемные датчики физических величин. Пьезоэффект	Практическое занятие 7,8 Элементы теории информации. Вероятностные волны де Бройля
2.4	Электростатический и акустический эффекты.	Практическое занятие 9,10,11,12. Подвижность носителей заряда в кристаллических структурах. Статистические методы анализа кинетики протекания элементарных физико-химических процессов.
2.5	Подходы оптимизации характеристик приборов наноинженерии	Практическое занятие 13,14,15. Транспорт носителей заряда в наноразмерных структурах. Оптимизация характеристик наноструктур и устройств.

13.2. Разделы дисциплины и виды занятий:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)			
		Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа	Всего
1	Введение. Основные понятия наноинженерии.	8	4	8	20
2	Основные структуры наноэлектроники.	6	8	8	22
3	Микросистемные датчики физических величин. Пьезоэффект.	6	4	10	20
4	Электростатический и акустический эффекты.	6	8	10	24
5	Подходы оптимизации характеристик приборов наноинженерии	4	6	12	22
	Экзамен				36
	Итого:	30	30	48	144

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Изучение дисциплины «Физические основы наноинженерии» предусматривает осуществление учебной деятельности, состоящей из трех частей: обучения студентов преподавателем, практические занятия 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 экзамена 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 студента-магистра при изучении дисциплины «Физические основы нанотехнологии» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса (в том числе, изучение, анализ и конспектирование рекомендованной литературы), подготовку к практическим занятиям, подготовку к экзамену.

Самостоятельная работа студента при изучении «Физические основы нанотехнологии» включает в себя:

изучение теоретической части курса	- 28 часов
подготовка к практическим занятиям	- 20 часов
итого - 48 часов	

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

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Пасынков, Владимир Васильевич. Полупроводниковые приборы : Учебник для вузов / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин .— 6-е изд., стер. — СПб. : Лань, 2002 .— 478, [1] с. : ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература) .— ISBN 5-8114-0368-2 : 105.27.
2	Пул, Ч.П. Нанотехнологии : учебное пособие для студ., обуч. по направлению подгот. "Нанотехнологии" / Ч. Пул, Ф. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина; доп. В. В. Лучинина .— 2-е изд., доп. — М. : Техносфера, 2006 .— 334 с. : ил. — (Мир материалов и технологий) .— Библиогр. в конце глав.
3	Мартин-Пальма, Рауль. Нанотехнологии. Ударный вводный курс : [учебное пособие] / Р. Мартин-Пальма, А. Лахтакия ; пер. с англ. Е.Г. Заболоцкой ; пер. А.В. Заболоцкого .— Долгопрудный : Издательский дом Интеллект, 2014 .— 206 с. : ил. — Библиогр. в конце гл.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	Щука, Александр Александрович. Основы интегральной электроники : Учеб.пособие / А.А. Щука ; Ред.Я.А.Федотов;Моск.ин-т радиотехники,электроники и автоматики .— М., 1993 .— 79,[1] с. : ил. — ISBN 5230121238 : 225.00.
5	Алферов, Жорес Иванович. Физика и жизнь / Ж. И. Алферов ; Редкол.:Р.А.Сулис (пред.) и др.; Рос. акад. наук. Физико-техн. ин-т им. А.Ф.Иоффе .— СПб. : Наука, 2000 .— 254 с. : ил., табл., портр. — ISBN 5-02-024926-2 : 52.00.
6	Кобаяси, Н. Введение в нанотехнологию / Н. Кобаяси ; пер. с яп. А.В. Хачояна под ред. Л.Н. Патрикеева .— М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005 .— 134 с. : ил.
7	Киреев, Валерий Юрьевич. Нанотехнологии в микроэлектронике. Нанолитография - процессы и оборудование : [учебно-справочное руководство] / В.Ю. Киреев .— Долгопрудный : Интеллект, 2016 .— 319 с. : ил., табл. — Библиогр.: с. 314-319.

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	Епифанов, Георгий Иванович. Физика твердого тела : учебное пособие для студ. вузов / Г.И. Епифанов .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Высшая школа, 1977 .— 287,[1] с. : ил., табл.— — 1

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины:

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии по образовательным формам: лекции; практические занятия, самостоятельная работа. 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
1	Введение. Основные понятия наноинженерии.	ОПК-1	ОПК-1.1, ОПК-1.3	Практическое занятие 1,2. Опрос
2	Основные структуры нанозлектроники.	ОПК-1	ОПК-1.1, ОПК-1.3	Практическое занятие 3,4,5,6. Опрос
3	Микросистемные датчики физических величин. Пьезоэффект.	ОПК-1	ОПК-1.1, ОПК-1.3	Практическое занятие 7,8. Опрос
4	Электростатический и акустический эффекты.	ОПК-1	ОПК-1.1, ОПК-1.3	Практическое занятие 9,10,11,12. Опрос
5	Подходы оптимизации характеристик приборов наноинженерии	ОПК-1	ОПК-1.1, ОПК-1.3	Практическое занятие 13,14,15. Опрос. Текущая аттестация
Промежуточная аттестация: форма контроля - экзамен				Комплект КИМ

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости по дисциплине осуществляется контролем проведения практических занятий, опроса на занятиях.

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, мини-кейсы)

Банк заданий текущей аттестации (Фонд оценочных средств):

Перечень заданий для оценки уровня освоения дисциплины:

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

1.1. Нанозлектроника — это область микроэлектроники, в которой имеют дело с

длинами/перемещениями величиной менее:

- a) 1 мкм
- b) 0,1 мкм
- c) 10 нм
- d) 1 нм**
- e) длины волны де Бройля

1.2. На каком этапе развития находится современная электроника:

- a) 1-м
- b) 2-м
- c) 3-м
- d) 4-м
- e) 5-м
- f) 6-м**

1.3. Какие свойства электрона проявляются по мере приближения размеров твердотельных структур к нанометровой области:

- a) корпускулярные
- b) волновые
- c) электрические

1.4. В каком году был изобретен транзистор:

- a) 1945
- b) 1947**
- c) 1949
- d) 1951
- e) 1953

1.5. В каком году была изобретена ИС:

- a) 1953
- b) 1955
- c) 1957
- d) 1959**
- e) 1961

1.6. Кто из перечисленных ниже ученых является лауреатом Нобелевской премии по физике:

- a) Ландау
- b) Капица
- c) Басов
- d) Прохоров
- e) Алферов**

1.7. Что такое планарная технология?

- a) технология создания плоских фигур
- b) технология последовательного создания элементов на плоскости
- c) технология последовательного создания элементов в тонком приповерхностном слое
- d) технология одновременного создания элементов в тонком приповерхностном слое**

1.8. На каком из принципов основана работа МЭМС-гироскопов:

- a) ускорения
- b) вибрации
- c) вращения
- d) поворота
- e) Кориолиса**

1.9. Какие из перечисленных приборов не относятся к приборам нанотехнологий:

- a) диод
- b) триод**
- c) транзистор
- d) теристор
- e) резистор

1.10. Основной характеристикой МДП-структуры является:

- a) p-n-переход
- b) исток
- c) сток
- d) вольт-амперная характеристика**

1.11. Время релаксации – это

- a) кинетическая энергия в форме колебательного движения, при превосхождении которой некоторое пороговое значение
- b) расстояние между соседними атомами кристаллической структуры, в которой инициируется векторизованное движение микрочастицы по пространственному направлению, соответствующему геометрической координате {x} (рассматривается одномерное приближение)
- c) период времени, за который амплитудное значение возмущения в выведенной из равновесия физической системе уменьшается в e раз**

1.12. У МДП -транзистора 3 контакта, они называются ...

- a) эмиттер, исток, сток
- b) затвор, сток, исток**
- c) эмиттер, база, коллектор

1.13. Фотодиоды - это

- a) устройства электроники, у которых одна из областей p-n перехода очень тонкая, что позволяет возникающему в переходе свету излучаться в окружающее пространство
- b) устройства электроники, у которых одна из областей p-n перехода очень тонкая, что позволяет внешнему свету проникать в переход**

1.14. Светодиоды – это

- a) устройства электроники, у которых одна из областей p-n перехода очень тонкая, что позволяет возникающему в переходе свету излучаться в окружающее пространство**
- b) устройства электроники, у которых одна из областей p-n перехода очень тонкая, что позволяет внешнему свету проникать в переход

1.15. Что такое p-n-переход?

- a) полупроводниковая структура в которой находится область соприкосновения двух полупроводников с разными типами проводимости — дырочной и электронной**

- b) область диффузии электронов
- c) полупроводник, обладающий одновременно носителями положительных и отрицательных зарядов

2) открытые задания (мини-кейсы, средний уровень сложности):

2.1. Перечислите основные структуры наноэлектроники

Ответ: Квантовые нити, квантовые точки, тонкие пленки, гетероструктуры, МДП-структуры, нанопорошки,

2.2. Дайте определение понятию «туннелирование носителей зарядов»

Ответ: туннелирование означает перенос частицы через область, ограниченную потенциальным барьером, высота которого больше полной энергии данной частицы ($E < U_0$) (или проникновение в эту область).

2.4. Дайте определение термину «сверхрешетки»

Ответ: монокристаллическую пленку из одного материала, воспроизводящую постоянную решетки монокристаллической подложки из другого материала.

2.5. В каком случае образуются квантовые ямы

Ответ: для носителей зарядов образуется в структурах, состоящих из полупроводников с различной шириной запрещенной зоны, в которых наноразмерная область из материала с меньшей шириной запрещенной зоны (квантовая яма) находится между областями материала с большей шириной запрещенной зоны (потенциальные барьеры или стенки ямы).

2.6. Что такое электронно-лучевая литография?

Ответ: метод изготовления субмикронных и наноразмерных топологических элементов посредством экспонирования электрически чувствительных поверхностей электронным лучом.

2.7. Дайте определение термину «наносистема»

Ответ: материальный объект в виде упорядоченных или самоупорядоченных, связанных между собой элементов с нанометрическими характеристическими размерами, кооперация которых обеспечивает возникновение у объекта новых свойств, проявляющихся в виде явлений и процессов, связанных с проявлением наномасштабных факторов.

2.8. Дайте определение термину «наноматериалы»

Ответ: вещества и композиции веществ, представляющие собой искусственно или естественно упорядоченную или неупорядоченную систему базовых элементов с нанометрическими характеристическими размерами и особым проявлением физического и (или) химического взаимодействий при кооперации наноразмерных элементов, обеспечивающих возникновение у материалов и систем совокупности ранее неизвестных механических, химических, электрофизических, оптических, теплофизических и других свойств, определяемых проявлением наномасштабных факторов.

2.9. Дайте определение термину «Интерполяция».

Ответ: способ нахождения промежуточных значений величины по имеющемуся дискретному набору известных значений.

2.10. Что такое аппроксимация функциональных зависимостей?

Ответ: это получение некоторой конкретной функции, вычисленные значения которой с некоторой точностью (приближением) аналогичны аппроксимируемой зависимости,

2.11. Что такое пьезоэффект?

Ответ: обратимая электромеханическая связь электрической поляризации (индукции) и механических деформаций (напряжений) в анизотропных диэлектрических средах, обладающих определённой кристаллической структурой и симметрией.

2.12. В каком диапазоне длин волн генерируется синхротронное излучение?

Ответ: диапазон длин волн синхротронного излучения занимает от ИК – излучения (нм) до гамма-излучения

2.13. Что такое волна де Бройля?

Ответ: волна вероятности, определяющая плотность вероятности обнаружения объекта в заданном интервале конфигурационного пространства

2.14. Что такое ВАХ транзистора?

Ответ: ВАХ или вольтамперная характеристика - функция, описывающая эту зависимость, и график этой функции.

2.15. Что такое спектроскопия?

Ответ: раздел физики, посвящённый изучению спектров электромагнитного излучения, которые возникают при воздействии электромагнитного излучения различных диапазонов энергий на материал вещества.

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) 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 4 задания открытого типа (максимальное количество баллов - 20). Если студент набрал менее 15 баллов, то ставится оценка – «неудовлетворительно», 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. Соотношение неопределенностей.
2. Практическое занятие 2. Зонные энергетические диаграммы твердых тел.
3. Практическое занятие 3. Определение длины волны излучаемого кванта света. Определение долей свободных частиц.
4. Практическое занятие 4. Контактные явления в кристаллических структурах.
5. Практическое занятие 5. Зонные энергетические диаграммы для контактных твердотельных систем
6. Практическое занятие 6. Энергетическое состояние микрочастицы в потенциальной яме.
7. Практическое занятие 7. Элементы теории информации
8. Практическое занятие 8. Вероятностные волны де Бройля
9. Практическое занятие 9. Подвижность носителей заряда в кристаллических структурах.
10. Практическое занятие 10. Статистические методы анализа кинетики протекания элементарных физико-химических процессов.
11. Практическое занятие 11. Подвижность носителей заряда.
12. Практическое занятие 12. Конструкция приборов нанoeлектроники
13. Практическое занятие 13. Процессы, использующиеся при разработке элементов и приборов нанoинженерии.
14. Практическое занятие 14. Подходы к оптимизации процедур создания наноразмерных структур.
15. Практическое занятие 15. Заключительное занятие.

Перечень вопросов для опроса.

1. Основные понятия нанoинженерии.
2. Элементы зонной теории твердых тел. Понятие потенциального барьера.
3. Поверхностные явления.
4. Вероятностные волны де Бройля.
5. Статистика электронов и дырок в полупроводниках.
6. Что такое «р-п- переход».
7. Что такое «Гетеропереход».
8. Что такое «Гетероструктуры».
9. Что представляют собой МДП-структуры.
10. Что такое «Пьезоэффект».
11. Поверхностные акустические волны и использование их в микросистемной технике.
12. Процессы, использующиеся при разработке элементов и приборов нанoинженерии.
13. Подходы к оптимизации процедур создания наноразмерных структур.

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация в форме экзамена по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств - КИМ

Перечень вопросов к промежуточной аттестации

1. Контактные явления в кристаллических структурах.
2. Поверхностные акустические волны и использование их в микросистемной технике.
3. Элементы спинтроники.
4. Основные понятия нанотехнологии.
5. Поверхностные явления.
6. Элементы зонной теории твердых тел.
7. Элементы теории информации.
8. МДП-структуры.
9. Электростатический эффект и использование его в нанотехнологии
10. Гетеропереход. Гетероструктуры.
11. Контактные явления. p-n- переход.
12. Вероятностные волны де Бройля.
13. Элементы и узлы микросистемных датчиков.
14. Процессы, использующиеся при разработке элементов и приборов нанотехнологии.
15. Понятие микросистемных датчиков
16. Элементы квантовой механики, математической статистики для расчета наноструктур.
17. Понятие потенциального барьера.
18. Подходы к оптимизации процедур создания наноразмерных структур.
19. Соотношение неопределенностей.
20. Пьезоэффект и использование его в микросистемной технике.
21. Статистика электронов и дырок в полупроводниках.

Комплект КИМ**Контрольно-измерительный материал № 1**

1. Контактные явления в кристаллических структурах.
2. Поверхностные акустические волны и использование их в микросистемной технике.

Контрольно-измерительный материал № 2

1. Элементы спинтроники.
2. Основные понятия нанотехнологии.

Контрольно-измерительный материал № 3

1. Поверхностные явления.
2. Элементы зонной теории твердых тел.

Контрольно-измерительный материал № 4

1. Элементы теории информации.
2. МДП-структуры.

Контрольно-измерительный материал № 5

1. Электростатический эффект и использование его в нанoeлектронике.
2. Процессы, использующиеся при разработке элементов и приборов нанoинженерии.

Контрольно-измерительный материал № 6

1. Гетеропереход. Гетероструктуры.
2. Понятие микросистемных датчиков

Контрольно-измерительный материал № 7

1. Элементы квантовой механики, математической статистики для расчета наноструктур.
2. Вероятностные волны де Бройля.

Контрольно-измерительный материал № 8

1. Поверхностные явления.
2. Элементы квантовой механики, математической статистики для расчета наноструктур.

Контрольно-измерительный материал № 9

1. Понятие потенциального барьера.
2. Подходы к оптимизации процедур создания наноразмерных структур.

Контрольно-измерительный материал № 10

1. Соотношение неопределенностей.
2. Пьезоэффект и использование его в микросистемной технике.

Контрольно-измерительный материал № 11

1. Вероятностные волны де Бройля.
2. Элементы и узлы микросистемных датчиков.

Контрольно-измерительный материал № 12

1. Статистика электронов и дырок в полупроводниках.
2. Понятие микросистемных датчиков.

Контрольно-измерительный материал № 13

1. Основные понятия нанoинженерии.
2. Контактные явления. p-n- переход.

Описание технологии проведения промежуточной аттестации

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

Оценка уровня освоения дисциплины «Физические основы нанoинженерии» осуществляется по следующим показателям:

- качество ответов при опросе на занятиях;
- полнота ответов на вопросы контрольно-измерительного материала;

- полнота ответов на дополнительные вопросы.

Критерии оценки освоения дисциплины «Физические основы нанотехнологий»:

– оценка *отлично* выставляется при полном соответствии работы студента всем 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 (продвинутый) 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 «Физические основы нанотехнологий» и отраженных в вышеперечисленных критериях, фиксируется в ведомости оценкой *неудовлетворительно*.

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.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний. При оценивании используются качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.