

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева»
(Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева)

СОГЛАСОВАНО
Руководитель ОПОП

_____ Д.В.Старов

«04» апреля 2024 г.

УТВЕРЖДАЮ
И.о. зав. кафедрой ТМиПИ
_____ Е.Ю.Степанович

«04» апреля 2024 г..

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

«Нанoeлектроника и перспективы ее развития»

Составитель(и)

Меркулов Д. И., к.ф.-м.н., доцент кафедры
ТМиПИ;
Датская З.Р., доцент, к.ф.-м.н., доцент кафедры
ТМиПИ;

Согласовано с работодателями:

Язев Б.Б., Генеральный директор ООО СК
«Квадро Айти»;

Направление подготовки /
специальность

Курузов Д.В., доцент кафедры «Связь» АГТУ;
11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Направленность (профиль) /
специализация ОПОП

Инжиниринг аналоговых и цифровых сложно
функциональных систем

Квалификация (степень)

бакалавр

Форма обучения

очная

Год приёма

2024

Курс

1

Семестр(ы)

1

Астрахань – 2024

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1.1. Целями освоения дисциплины (модуля) «Нанoeлектроника и перспективы ее развития» являются формирование научной основы, необходимой для создания элементов, приборов и устройств микроэлектроники и нанoeлектроники.

1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля): изучение законов физики наноразмерных полупроводниковых структур для последующего использования их при разработке и эксплуатации приборов и устройств микроволновой, цифровой и оптической электроники, а также при проектировании электронных схем на их основе.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОПОП

2.1. Учебная дисциплина (модуль) Б1. В.01 «Нанoeлектроника и перспективы ее развития» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений и осваивается в 1 семестре(ах).

2.2. Для изучения данной учебной дисциплины (модуля) необходимы следующие знания, умения, навыки, формируемые предшествующими учебными дисциплинами (модулями):

- Введение в инженерную деятельность:

Знания: фундаментальные представления об электронике, фундаментальные представления о микроэлектронике, фундаментальные представления о нанотехнологиях и нанoeлектронике;

Умения: оценивать конкурентно способность электронных изделий;

Навыки: информацией о технологиях производства изделий электронной техники.

- Высшая математика:

Знания: дифференциальные уравнения первого и второго порядка; Умения: решения дифференциальных уравнений;

Навыки: построения систем дифференциальных уравнений для описания динамических процессов в технических системах.

- Физика:

Знания: возмущений, основы электродинамики, электромагнитные волны, взаимодействие электромагнитных волн с веществом;

Умения: использовать для решения прикладных задач основные понятия; Навыки: описание основных физических явлений и решения типовых задач.

2.3. Последующие учебные дисциплины (модули) и (или) практики, для которых необходимы знания, умения, навыки, формируемые данной учебной дисциплиной (модулем):

- Микро- и нанoeлектроника;

- Схемотехника.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС3++ ВО и ОПОП ВО по данному направлению подготовки (специальности):

а) профессиональных (ПК): Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения (ПК-2).

б)

Таблица 1 – Декомпозиция результатов обучения

Код компет	Код и наименование индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
------------	-------------------------------	--

енции	достижения компетенции ¹	Знать (1)	Уметь (2)	Владеть (3)
ПК-2	ПК-2.1 Знает методики проведения исследований параметров и характеристик узлов, блоков	Современные тенденции развития электроники, Измерительной и вычислительной техники и проблемы, возникающие в ходе профессиональной деятельности;	Учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности	Навыками использования необходимого физико-математического аппарата;
	ПК-2.2 Умеет проводить исследования характеристик электронных приборов	Простейшие физические и математические Модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения;	Выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности;	Навыками использования стандартных программных средств компьютерного моделирования;
	ПК-2.3 Владеет современными программами для экспериментального исследования параметров и характеристик приборов	Методики экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения;	.Строить простейшие физические математические модели приборов, схем, устройств установок электроники и наноэлектроник и различного функционального назначения	Навыками реализации на практике методики экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины в соответствии с учебным планом составляет 3 зачетные единицы (108 часов).

Трудоемкость отдельных видов учебной работы студентов очной, очно-заочной и

заочной форм обучения приведена в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Трудоемкость отдельных видов учебной работы по формам обучения

Вид учебной и внеучебной работы	для очной формы обучения
Объем дисциплины в зачетных единицах	3
Объем дисциплины в академических часах	108
Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего), в том числе (час.):	36
- занятия лекционного типа, в том числе:	18
- практическая подготовка (если предусмотрена)	2
- занятия семинарского типа (семинары, практические, лабораторные), в том числе:	18
- практическая подготовка (если предусмотрена)	
- в ходе подготовки и защиты курсовой работы ²	
- консультация (предэкзаменационная) ³	
- промежуточная аттестация по дисциплине ⁴	
Самостоятельная работа обучающихся (час.)	72
Форма промежуточной аттестации обучающегося (зачет/экзамен), семестр (ы)	зачет – 1 семестр;

Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий и самостоятельной работы, для каждой формы обучения представлено в таблице 2.2.

Таблица 2.2. Структура и содержание дисциплины (модуля)

для очной формы обучения

Раздел, тема дисциплины (модуля)	Контактная работа, час.							СР, час.	Итого часов	Форма текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации [по семестрам]
	Л		ПЗ		ЛР		КР / КП			
	Л	в т.ч. ПП	ПЗ	в т.ч. ПП	ЛР	в т.ч. ПП				
Семестр 1.										
Тема 1. Определения мезоскопических структур, пониженной размерности, наночастиц, нанотехнологий, квантоворазмерных структур, сложных (бинарных, Третичных и т.д.) полупроводниковых	2		2					8	12	Опрос, Решение задач

² Числовые данные в данной строке соответствуют трудоемкости, указанной в учебном плане в столбце «КР/КП» Если курсовая работа не предусмотрена – необходимо удалить строку «Контактная работа в ходе подготовки и защиты курсовой работы».

³ Числовые данные в данной строке соответствуют трудоемкости, указанной в учебном плане в столбце «Конс. (для гр.)»

⁴ Числовые данные в данной строке соответствуют трудоемкости, указанной в учебном плане в столбце «КПА»

Раздел, тема дисциплины (модуля)	Контактная работа, час.							СР, час.	Итого часов	Форма текущего контроля успеваемости и, форма промежуточной аттестации [по семестрам]
	Л		ПЗ		ЛР		КР / КП			
	Л	в т.ч. ПП	ПЗ	в т.ч. ПП	ЛР	в т.ч. ПП				
монокристаллических материалов, гетероструктур и гетеропереходов, сверхрешеток нанотрубок, магнитных мультислоёв, нитевидных нанокристаллов (полупроводниковых нановискеров), транзисторов с высокой подвижностью электронов.										
Тема 2. Резонансно-туннельные диоды.	2		2					8	12	Опрос Задания по практической работе
Тема 3. ВАХ туннельного диода.	2		2					8	12	Опрос, Решение задач
Тема 4. Энергетическая диаграмма туннельного диода.	2		2					8	12	Опрос, Решение задач
Тема 5. Обращенный диод.	2		2					8	12	Опрос, Решение задач
Тема 6. Структура транзистора на горячих электронах.	2		2					8	12	Опрос, Решение задач
Тема 7. Транзисторы с Резонансным туннелированием	2		2					8	12	Опрос, Решение задач
Тема 8. Энергетическая Диаграмма транзистора на горячих электронах.	2	2	2					8	12	Опрос, Решение задач
Тема 9. Полевые транзисторы с резонансным туннелированием.	2			2				8	12	Опрос, Решение задач
Консультации										
Контроль промежуточной аттестации										Тест
ИТОГО за семестр:	18		18	2				72	108	Зачёт

Примечание: Л – лекция; ПЗ – практическое занятие, семинар; ЛР – лабораторная работа; ПП – практическая подготовка; КР / КП – курсовая работа / курсовой проект; СР – самостоятельная работа

Таблица 3. Матрица соотнесения разделов, тем учебной дисциплины (модуля) и формируемых компетенций

Раздел, тема дисциплины (модуля)	Кол-во часов	Код компетенции	Общее количество компетенций
		ПК-2	
Тема 1. Определения мезоскопических структур, систем пониженной размерности, наночастиц, нанотехнологий, квантоворазмерных структур, сложных (бинарных, Третичных и т.д.) полупроводниковых монокристаллических материалов, гетероструктур и гетеропереходов, сверхрешеток нанотрубок, магнитных мультислоёв, нитевидных нанокристаллов (полупроводниковых нановискеров), транзисторов с высокой подвижностью электронов.	12	+	1
Тема 2. Резонансно-туннельные диоды.	12	+	1
Тема 3. ВАХ туннельного диода.	12	+	1
Тема 4. Энергетическая диаграмма туннельного диода.	12	+	1
Тема 5. Обращенный диод.	12	+	1
Тема 6. Структура транзистора на горячих электронах.	12	+	1
Тема 7. Транзисторы с Резонансным туннелированием	12	+	1
Тема 8. Энергетическая Диаграмма транзистора на горячих электронах.	12	+	1
Тема 9. Полевые транзисторы с резонансным туннелированием.	12	+	1
Итого	108		

Краткое содержание каждой темы дисциплины (модуля)

Тема 1. Определения мезоскопических структур, систем пониженной размерности наночастиц, нанотехнологий, квантоворазмерных структур, сложных (бинарных, третичных и т.д.) полупроводниковых монокристаллических материалов, гетероструктур и гетеропереходов, сверхрешеток, нанотрубок, магнитных мультислоёв, нитевидных нанокристаллов (полупроводниковых нановискеров), транзисторов с высокой подвижностью электронов.

Наноструктурные материалы (кристаллы, кристаллиты, кластеры). Физические основы наноэлектроники (квантовое ограничение, баллистический транспорт носителей, туннелирование носителей заряда). Основные характеристики и принцип работы туннельного диода. Определения мезоскопических структур, систем пониженной размерности, наночастиц, нанотехнологий, квантоворазмерных структур, сложных (бинарных, третичных и т.д.) полупроводниковых монокристаллических материалов, гетероструктур и гетеропереходов, сверхрешеток, нанотрубок, магнитных мультислоёв, нитевидных нанокристаллов (полупроводниковых нановискеров), транзисторов с высокой подвижностью электронов (Higt Electron Mobility Tranzistor, HEMT), микро- и нано- электромеханических систем (MEMS и NEMS Micro(Nano)-Electro-Mechanical Systems); специфика взаимодействий на микро- и наноуровнях; грануляция вещества при конденсации на подложках; основные положения макро- микро- и нанотрибологии; законы Амонтона-Кулона; модели Баудена-Табора и DMT (Derjagin, Miller, Toropov).

Тема 2. Резонансно-туннельные диоды. Структура РТД. Принцип действия РТД.

Тема 3. ВАХ туннельного диода. ВАХ РТД.

Тема 4. Энергетическая диаграмма туннельного диода.

Энергетические диаграммы туннельного диода при: отсутствии напряжения; небольшое прямое напряжение; напряжение пика; напряжение, соответствующее отрицательной дифференциальной проводимости; напряжение впадины; обратное напряжение.

Тема 5. Обращенный диод.

Структура обращенного диода. Область применения обращенного диода. ВАХ обращенного диода.

Тема 6. Структура транзистора на горячих электронах.

Структура транзистора на горячих электронах.

Тема 7. Транзисторы с резонансным туннелированием.

Структура транзистора с резонансным туннелированием. Нанoeлектронные элементы информационных систем.

Тема 8. Энергетическая диаграмма транзистора на горячих электронах.

Энергетическая диаграмма транзистора на горячих электронах. **Тема 9. Полевые транзисторы с резонансным туннелированием.** Структура полевых транзисторов с резонансным туннелированием.

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРЕПОДАВАНИЮ И ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1. Указания для преподавателей по организации и проведению учебных занятий по дисциплине (модулю)

Указания по организации и проведению лекционных, практических (семинарских) и лабораторных занятий с перечнем учебно-методического обеспечения

При разработке учебных программ по ФГОС-3 поколения предполагается использование кроме традиционных форм проведения занятий также активные и интерактивные формы. При

этом студенты глубже понимают учебный материал, память также акцентируется на проблемных ситуациях, что способствует запоминанию учебного материала.

В процессе обучения необходимо обращать внимание в первую очередь на те методы, при которых слушатели идентифицируют себя с учебным материалом, включаются в изучаемую ситуацию, побуждаются к активным действиям, переживают состояние успеха и соответственно мотивируют свое поведение. Всем этим требованиям в наибольшей степени отвечают интерактивные методы обучения.

Интерактивные лекционные занятия проводятся в следующей форме.

1. Лекция-беседа

В названном виде занятий планируется диалог с аудиторией, это наиболее простой способ индивидуального общения, построенный на непосредственном контакте преподавателя и студента.

Участие (внимание) слушателей в данной лекции обеспечивается путем вопросно-ответной беседы с аудиторией (постановка проблемного задания).

Вначале лекции и по ходу ее преподаватель задает слушателям вопросы не для контроля усвоения знаний, а для выяснения уровня осведомленности по рассматриваемой проблеме.

Вопросы могут быть элементарными: для того, чтобы сосредоточить внимание, как на отдельных нюансах темы, так и на проблемах.

2. Лекция с элементами обратной связи.

В данном случае подразумевается изложение учебного материала и использование знаний по смежным предметам (межпредметные связи) или по изученному ранее учебному материалу. Обратная связь устанавливается посредством ответов студентов на вопросы преподавателя по ходу лекции. Чтобы определить осведомленность студентов по излагаемой проблеме, в начале какого-либо раздела лекции задаются необходимые вопросы.

Если студенты правильно отвечают на вводный вопрос, преподаватель может ограничиться кратким тезисом или выводом и перейти к следующему вопросу.

Если же ответы не удовлетворяют уровню желаемых знаний, преподаватель сам излагает подробный ответ, и в конце объяснения снова задает вопрос, определяя степень усвоения учебного материала.

Если ответы вновь демонстрируют низкий уровень знаний студентов – следует изменить методику подачи учебного материала.

В форме лекции с элементами обратной связи проводятся занятия, в которых необходимо связать уже имеющиеся знания с излагаемым материалом.

3. Проектная работа

Учебный процесс, опирающийся на использование интерактивных методов обучения, организуется с учетом включенности в процесс познания всех студентов группы без исключения. Совместная деятельность означает, что каждый вносит свой особый индивидуальный вклад, в ходе работы идет обмен знаниями, идеями, способами деятельности. Организуются проектная работа, осуществляется работа с научно-технической документацией. Такие методы основаны на принципах взаимодействия, активности обучаемых, опоре на групповой опыт, обязательной обратной связи. Создается среда образовательного общения, которая характеризуется открытостью, взаимодействием участников, равенством их аргументов, накоплением совместного знания, возможностью взаимной оценки и контроля.

Студенты делятся на 3...4 группы, выдается общее задание, но задаются различные варианты решения задачи, каждая группа анализирует предложенное решение, корректирует его и защищает перед студентами других подгрупп. Преподаватель выполняет роль рецензента. Задание желательно формировать на основе ситуаций, которые рассматривались при проведении нескольких занятий в активной форме. При проведении таких занятий преподаватель должен объяснить студентам значение компетентностного подхода для

формирования современного специалиста, сформировать основные компетенции по специальности и показать пути их освоения.

4. Комплекс семинарских и лабораторных работ

Ведущий преподаватель вместе с новыми знаниями ведет участников обучения к самостоятельному поиску. Активность преподавателя уступает место активности студентов, его задачей становится создание условий для их инициативы. Преподаватель отказывается от роли своеобразного фильтра, пропускающего через себя учебную информацию, и выполняет функцию помощника в работе, одного из источников информации.

Студентам выдается список тем практических/семинарских занятий. Каждый студент готовит отчет с элементами анализа литературных источников изучаемой проблемы.

Промежуточная аттестация студентов подразделяется на зачетную, именуемую зачетной неделей, и экзаменационную сессию. Зачеты сдаются в течение одной недели перед экзаменационной сессией. Продолжительность экзаменационных сессий (а их две: зимняя и летняя) в учебном году устанавливается Госстандартом.

5.2. Указания для обучающихся по освоению дисциплины (модулю)

Главная задача самостоятельной работы студентов – развитие умения приобретать научные знания путем личных поисков, формирование активного интереса и вкуса к творческому, самостоятельному подходу в учебной и практической работе.

Самостоятельная работа студента направляется настоящей рабочей программой.

Основываясь на лекционном материале, результатах, полученных на лабораторных занятиях и при самостоятельной работе, студент выполняет реферат.

Примерный объем реферата – 10...15 стр.

Оформленная работа представляется на рецензию и при получении положительной рецензии студент выполняет защиту работы.

Курсовая работа и курсовой проект по данной дисциплине не предусмотрены.

Таблица 4. Содержание самостоятельной работы обучающихся

для очной формы обучения

Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	Кол-во часов	Форма работы
Определения мезоскопических структур, систем пониженной размерности, наночастиц, нанотехнологий, квантоворазмерных структур	8	Решение стандартных задач
.Резонансно-туннельные диоды.	8	Решение стандартных задач
ВАХ туннельного диода.	8	Решение стандартных задач
Энергетическая диаграмма туннельного диода.	8	Решение стандартных задач
Обращенный диод.	8	Решение стандартных задач
Структура транзистора на горячих электронах.	8	Решение стандартных задач
Транзисторы с Резонансным туннелированием	8	Решение стандартных задач
Энергетическая Диаграмма транзистора на горячих электронах.	8	Решение стандартных задач
Полевые транзисторы с резонансным туннелированием.	8	Решение стандартных задач

5.3. Виды и формы письменных работ, предусмотренных при освоении дисциплины (модуля), выполняемые обучающимися самостоятельно

Критерии выставления оценок за рефераты сформулированы в ФОСах. Здесь приводятся требования к оформлению работы.

Общие требования оформления реферата

Указанные работы выполняются на листах писчей бумаги формата А-4 в MicrosoftWord; объем: 5-15 страниц текста для отчета. Размер шрифта – 14; интервал – 1,5; с нумерацией страниц сверху страницы посередине, абзацный отступ на расстоянии 2,25 см от левой границы поля.

Все формулы, единицы измерений, расчеты приводятся и ведутся в системе СИ. При оформлении работы соблюдаются поля:

левое – 25 мм; правое – 10 мм; нижнее – 20 мм; верхнее – 20 мм.

Оформление таблиц:

1. Таблицы применяют для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей. Название таблицы, при его наличии, должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Название таблицы следует помещать над таблицей слева, без абзацного отступа в одну строку с ее номером через тире.

2. При переносе части таблицы название помещают только над первой частью таблицы, нижнюю горизонтальную черту, ограничивающую таблицу, не проводят.

3. Таблицу следует располагать в отчете непосредственно после текста, в котором она упоминается впервые, или на следующей странице.

4. На все таблицы должны быть ссылки в реферате. При ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера.

Оформление иллюстраций:

1. Иллюстрации (чертежи, графики, схемы, компьютерные распечатки, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые, или на следующей странице.

2. Иллюстрации могут быть в компьютерном исполнении, в том числе и цветные.
3. На все иллюстрации должны быть даны ссылки в реферате.
 4. Иллюстрации, за исключением иллюстрации приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией.
 5. Если рисунок один, то он обозначается «Рисунок 1». Слово «рисунок» и его наименование располагают посередине строки.
 6. Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой. Например, Рисунок 1.1.
 7. Иллюстрации, при необходимости, могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисовочный текст). Слово «Рисунок» и наименование помещают после пояснительных данных и располагают следующим образом: Рисунок 1 — Схема карты сайта.
 8. Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Например, Рисунок А.3.
 9. При ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рисунком 2» при сквозной нумерации и «... в соответствии с рисунком 1.2» при нумерации в пределах раздела.

Приложения:

1. Приложение оформляют как продолжение данного документа на последующих его листах или выпускают в виде самостоятельного документа.
 2. В тексте документа на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте документа, за исключением справочного приложения «Библиография», которое располагают последним.
 3. Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение», его обозначения и степени.
 4. Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.
 5. Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, Й, О, Ч, Ь, Ы, Ъ. После слова «Приложение» следует буква, обозначающая его последовательность.
 6. Допускается обозначение приложений буквами латинского алфавита, за исключением букв I и O.
 7. В случае полного использования букв русского и латинского алфавитов допускается обозначать приложения арабскими цифрами.
8. Если в документе одно приложение, оно обозначается «Приложение А».
9. Текст каждого приложения, при необходимости, может быть разделен на разделы, подразделы, пункты, подпункты, которые нумеруют в пределах каждого приложения. Перед номером ставится обозначение этого приложения.
 10. Приложения должны иметь общую с остальной частью документа сквозную нумерацию страниц.

Представление.

Работа должна быть представлена в **двух видах**: печатном и электронном.

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации различных видов учебной работы по дисциплине могут использоваться электронное обучение и дистанционные образовательные технологии.

6.1. Образовательные технологии

Интерактивных занятий (25%)

№	Формы	Описание
1.	Работа с Microsoft PowerPoint	Подготовка презентаций докладов в PowerPoint
2.	Интернет. Поиск информации по теме.	Проведение самостоятельного поиска информации по темам дисциплины с использованием интернет-ресурсов.

Учебные занятия по дисциплине могут проводиться с применением информационно-телекоммуникационных сетей при опосредованном (на расстоянии) интерактивном взаимодействии обучающихся и преподавателя в режимах on-line в формах: видео-лекций, лекций-презентаций, видеоконференции, собеседования в режиме чат, форума, чата, выполнения виртуальных практических и/или лабораторных работ и др.

Максимальный объем занятий обучающегося с применением электронных образовательных технологий не должен превышать 25%.

Таблица 5. Образовательные технологии, используемые при реализации учебных занятий

Раздел, тема дисциплины (модуля)	Форма учебного занятия		
	Лекция	Практическое занятие, семинар	Лабораторная работа
Тема 1. Определения мезоскопических структур, систем пониженной размерности, наночастиц, нанотехнологий, квантоворазмерных структур, сложных (бинарных, третичных и т.д.) полупроводниковых монокристаллических материалов, гетероструктур и гетеропереходов, сверхрешеток, нанотрубок, магнитных мультислоев, нитевидных нанокристаллов (полупроводниковых нановискеров), транзисторов высокой подвижностью электронов.	Обзорная лекция	Фронтальный опрос, выполнение практических заданий	Не предусмотрено
Тема 2. Резонансно-туннельные диоды.	Лекция- диалог	Фронтальный опрос, выполнение практических заданий	Не предусмотрено
Тема 3. ВАХ туннельного диода.	Лекция- диалог	Фронтальный опрос, выполнение практических заданий	Не предусмотрено
Тема 4. Энергетическая диаграмма туннельного диода.	Лекция- диалог	Фронтальный опрос, выполнение практических заданий	Не предусмотрено
Тема 5. Обращенный диод.	Лекция- диалог	Фронтальный опрос, выполнение практических заданий	Не предусмотрено
	Лекция- диалог	Фронтальный опрос, выполнение практических заданий	Не предусмотрено
Тема 7. Транзисторы с резонансным туннелированием.	Лекция- диалог	Фронтальный опрос, выполнение практических	Не предусмотрено

		заданий	
Тема 8. Энергетическая диаграмма транзистора на горячих электронах. Практическая подготовка	Лекция- диалог	Фронтальный опрос, выполнение практических заданий	Не предусмотрено
Тема 9. Полевые транзисторы с резонансным туннелированием.	Лекция- диалог	Фронтальный опрос, выполнение практических заданий	Не предусмотрено

6.2. Информационные технологии

Для оперативного обмена информацией, получения заданий и выставления оценок широко используется электронная почта преподавателя.

Интернет и IT технологии широко используются при подготовке лекций, презентаций, кейс-заданий и пр.

При реализации различных видов учебной и внеучебной работы используются следующие информационные технологии: виртуальная обучающая среда (или система управления обучением LMS Moodle) или иные информационные системы, сервисы и мессенджеры.

6.3. Программное обеспечение, современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

[В данном разделе приводятся перечни используемых при реализации дисциплины (модуля) программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, состав которых подлежит обновлению при необходимости]

6.3.1. Программное обеспечение

Наименование программного обеспечения	Назначение
Adobe Reader	Программа для просмотра электронных документов
Платформа дистанционного обучения LMS Moodle	Виртуальная обучающая среда
Mozilla FireFox	Браузер
Microsoft Office 2013, Microsoft Office Project 2013, Microsoft Office Visio 2013	Пакет офисных программ
7-zip	Архиватор
Microsoft Windows 10 Professional	Операционная система
Kaspersky Endpoint Security	Средство антивирусной защиты
Google Chrome	Браузер
Notepad++	Текстовый редактор
OpenOffice	Пакет офисных программ
Opera	Браузер
Paint .NET	Растровый графический редактор
Scilab	Пакет прикладных математических программ
Microsoft Security Assessment Tool. Режим доступа: http://www.microsoft.com/ru-ru/download/details.aspx?id=12273 (Free) Windows Security Risk Management Guide Tools and Templates. Режим доступа: http://www.microsoft.com/en-	Программы для информационной безопасности

Наименование программного обеспечения	Назначение
us/download/details.aspx?id=6232 (Free)	
MathCad 14	Система компьютерной алгебры из класса систем автоматизированного проектирования, ориентированная на подготовку интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением
1С: Предприятие 8	Система автоматизации деятельности на предприятии
Arena 16.0	Программное обеспечение для моделирования дискретных событий и автоматизации.
KOMPAS-3D V21	Создание трёхмерных ассоциативных моделей отдельных элементов и сборных конструкций из них
Blender	Средство создания трёхмерной компьютерной графики
PyCharm EDU	Среда разработки
R	Программная среда вычислений
VirtualBox	Программный продукт виртуализации операционных систем
VLC Player	Медиапроигрыватель
Microsoft Visual Studio	Среда разработки
Cisco Packet Tracer	Инструмент моделирования компьютерных сетей
CodeBlocks	Кроссплатформенная среда разработки
Eclipse	Среда разработки
Lazarus	Среда разработки
PascalABC.NET	Среда разработки
VMware (Player)	Программный продукт виртуализации операционных систем
Far Manager	Файловый менеджер
Sofa Stats	Программное обеспечение для статистики, анализа и отчётности
Maple 18	Система компьютерной алгебры
WinDjView	Программа для просмотра файлов в формате DJV и DjVu
MATLAB R2014a	Пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений
Oracle SQL Developer	Среда разработки
VISSIM 6	Программа имитационного моделирования дорожного движения
VISUM 14	Система моделирования транспортных потоков
IBM SPSS Statistics 21	Программа для статистической обработки данных
ObjectLand	Геоинформационная система
КРЕДО ТОПОГРАФ	Геоинформационная система
Полигон Про	Программа для кадастровых работ
Android Studio	Программа для разработки приложений для ОС Android
Autodesk Fusion 360	Программа для управления производственными

Наименование программного обеспечения	Назначение
	процессами, такими как механическая обработка, фрезерование, токарная обработка и аддитивное производство.
Electronics Workbench	Система Electronics Workbench предназначена для проектирования аналоговых и цифровых электронных схем с визуализацией исходных данных и результатов проводимых анализов.
GIMP	Многоплатформенное программное обеспечение для работы над изображениями.
Inkscape	Свободно распространяемый векторный графический редактор, удобен для создания как художественных, так и технических иллюстраций
IntelliJ IDEA	Интегрированная среда разработки программного обеспечения для многих языков программирования, в частности Java, javascript, Python
Node.js	Node.js открывает для написанного на JavaScript кода доступ к глобальным объектам, обращается к жесткому диску, базам данных и Сети. Поэтому с его помощью становится возможным написание любых приложений
PostgreSQL	PostgreSQL Это система управления объектно-реляционными базами данных, то есть можно создавать таблицы, соответствующие принципам объектно-ориентированного программирования (классы, наследование и т. д).
Sublime Text	Кроссплатформенный текстовый редактор для написания программного кода на различных языках программирования (Groovy, Erlang, C++, Java и т. Д.), а также верстки веб-документов.
Vim	Vim предназначен для использования как в интерфейсе командной строки, так и в качестве отдельного приложения в графическом пользовательском интерфейсе
Loginom	Loginom ориентирован на обработку структурированных, т. е. табличных данных. Благодаря своей высокой производительности платформа может с успехом применяться для обработки больших данных.
Visual Paradigm	Visual Paradigm позволяет выполнять разработку кода и базы данных на Java и C ++.
Wing	Wing – интегрированная среда разработки, предназначенная для создания приложений на языке Python. IDE предоставляет профессиональный редактор кода, в котором можно использовать клавиатурные комбинации vi и emacs, работает автодополнение кода, рефакторинг, отслеживание вызовов,

Наименование программного обеспечения	Назначение
	контекстные подсказки.
Wireshark	Wireshark – это приложение, которое «знает» структуру самых различных сетевых протоколов, и поэтому позволяет разобрать сетевой пакет, отображая значение каждого поля протокола любого уровня.
Emu8086	Программный эмулятор работы компьютера с процессором Intel 8086.
LibreOffice	Пакет офисных программ.
Geany	Среда разработки программного обеспечения, написанная с использованием библиотеки GTK
Postman	Сервис для создания, тестирования, документирования, публикации и обслуживания API.
Deductor Academic	Deductor – это программная платформа продвинутой аналитики, позволяющая создавать законченные прикладные аналитические решения для бизнеса.
Free Pascal	Компилятор для ObjectPascal.
Anylogic PLE	Программа для обучения имитационному моделированию
Arduino IDE	Arduino IDE позволяет составлять программы в удобном текстовом редакторе, компилировать их в машинный код и загружать на все версии платы Arduino
AllFusion Process Modeler	Средство моделирования бизнес-процессов, предназначенное для разрешения многочисленных проблем, возникающих в сфере электронного бизнеса.
SageMath	Бесплатное и свободно распространяемое математическое программное обеспечение с открытыми исходными кодами для исследовательской работы и обучения в самых различных областях, включая алгебру, геометрию, теорию чисел, криптографию, численные вычисления и другие.
ТС-ОЭиС	Тренажер-симулятор виртуальный «Основы электроники и схемотехники»
ТС-ПТ-НРЦ	Тренажер-симулятор виртуальный «Преобразовательная техника»
Виртуальный осмотр места происшествия	Комплекс виртуального ситуационного моделирования и обучения для следователей, следователей-криминалистов, студентов юридического профиля. Интерактивная тренинговая система позволяет моделировать виртуальные криминалистические полигоны (места происшествий) и создавать учебные кейсы для отработки осмотра места происшествия.
Scratch	Визуально-блочная событийно-ориентированная

Наименование программного обеспечения	Назначение
	среда программирования
Protege	Свободный, открытый редактор онтологий и фреймворк для построения баз знаний
Docker	Докер – это открытая платформа для разработки, доставки и эксплуатации приложений.
Autodesk 3ds Max 2021	Профессиональное программное обеспечение для 3D-моделирования, анимации и визуализации при создании игр и проектировании.
Autodesk AutoCad 2021	Пакет программ для точного проектирования и цифрового черчения планов, развёрток, схем и виртуальных трёхмерных моделей.
CLion	Интегрированная среда разработки для языков программирования Си и C++.
Lego Mindstorms	Образовательная платформа для занятий робототехникой
Кумир	Язык и система программирования, предназначенная для поддержки начальных курсов информатики и программирования на алгоритмическом языке в средней и высшей школе.

6.3.2. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

<i>Наименование современных профессиональных баз данных, информационных справочных систем</i>
Универсальная справочно-информационная полнотекстовая база данных периодических изданий ООО «ИВИС» http://dlib.eastview.com Имя пользователя: AstrGU Пароль: AstrGU
Электронные версии периодических изданий, размещённые на сайте информационных ресурсов www.polpred.com
Электронный каталог Научной библиотеки АГУ на базе MARK SQL НПО «Информ-систем» https://library.asu.edu.ru/catalog/
Электронный каталог «Научные журналы АГУ» https://journal.asu.edu.ru/
Корпоративный проект Ассоциации региональных библиотечных консорциумов (АРБИКОН) «Межрегиональная аналитическая роспись статей» (МАРС) – сводная база данных, содержащая полную аналитическую роспись 1800 названий журналов по разным отраслям знаний. Участники проекта предоставляют друг другу электронные копии отсканированных статей из книг, сборников, журналов, содержащихся в фондах их библиотек. http://mars.arbicon.ru
Справочная правовая система КонсультантПлюс. Содержится огромный массив справочной правовой информации, российское и региональное законодательство, судебную практику, финансовые и кадровые консультации, консультации

<i>Наименование современных профессиональных баз данных, информационных справочных систем</i>
для бюджетных организаций, комментарии законодательства, формы документов, проекты нормативных правовых актов, международные правовые акты, правовые акты, технические нормы и правила. http://www.consultant.ru

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

7.1. Паспорт фонда оценочных средств

При проведении текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) «Нанoeлектроника и перспективы ее развития» проверяется сформированность у обучающихся компетенций, указанных в разделе 3 настоящей программы. Этапность формирования данных компетенций в процессе освоения образовательной программы определяется последовательным освоением дисциплин (модулей) и прохождением практик, а в процессе освоения дисциплины (модуля) – последовательным достижением результатов освоения содержательно связанных между собой разделов, тем.

Таблица 6. Соответствие разделов, тем дисциплины (модуля), результатов обучения по дисциплине (модулю) и оценочных средств

Контролируемый раздел, тема дисциплины (модуля)	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
Тема 1	ПК-2	опрос
Тема 2	ПК-2	опрос
Тема 3	ПК-2	опрос
Тема 4	ПК-2	опрос
Тема 5	ПК-2	опрос
Тема 6	ПК-2	опрос
Тема 7	ПК-2	опрос
Тема 8	ПК-2	опрос
Тема 9	ПК-2	опрос

[Примечание: данная таблица заполняется в соответствии с таблицей 3]

7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания

Таблица 7. Показатели оценивания результатов обучения в виде знаний

Шкала оценивания	Критерии оценивания
5 «отлично»	демонстрирует глубокое знание теоретического материала, умение обоснованно излагать свои мысли по обсуждаемым вопросам, способность полно, правильно и аргументированно отвечать на вопросы, приводить примеры
4 «хорошо»	демонстрирует знание теоретического материала, его последовательное изложение, способность приводить примеры, допускает единичные ошибки, исправляемые после замечания преподавателя
3 «удовлетворительно»	демонстрирует неполное, фрагментарное знание теоретического материала, требующее наводящих вопросов преподавателя, допускает существенные ошибки в его изложении, затрудняется в приведении примеров и формулировке выводов

Шкала оценивания	Критерии оценивания
2 «неудовлетворительно»	демонстрирует существенные пробелы в знании теоретического материала, не способен его изложить и ответить на наводящие вопросы преподавателя, не может привести примеры

Таблица 8. Показатели оценивания результатов обучения в виде умений и владений

Шкала оценивания	Критерии оценивания
5 «отлично»	демонстрирует способность применять знание теоретического материала при выполнении заданий, последовательно и правильно выполняет задания, умеет обоснованно излагать свои мысли и делать необходимые выводы
4 «хорошо»	демонстрирует способность применять знание теоретического материала при выполнении заданий, последовательно и правильно выполняет задания, умеет обоснованно излагать свои мысли и делать необходимые выводы, допускает единичные ошибки, исправляемые после замечания преподавателя
3 «удовлетворительно»	демонстрирует отдельные, несистематизированные навыки, испытывает затруднения и допускает ошибки при выполнении заданий, выполняет задание по подсказке преподавателя, затрудняется в формулировке выводов
2 «неудовлетворительно»	не способен правильно выполнить задания

7.3. Контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения по дисциплине (модулю)

На практических занятиях студенты выполняют индивидуальные задания по каждой теме.

Тема 1. Определения мезоскопических структур, систем пониженной размерности, наночастиц, нанотехнологий, квантоворазмерных структур, сложных (бинарных, третичных и т.д.) полупроводниковых монокристаллических материалов, гетероструктур и гетеропереходов, сверхрешеток, нанотрубок, магнитных мультислоёв, нитевидных нанокристаллов (полупроводниковых нановискеров), транзисторов с высокой подвижностью электронов.

Опрос

1. Перечислите основные наноструктурные материалы.
2. Назовите основные характеристики и принцип работы туннельного диода.
3. Что такое мезоскопическая структура?
4. Что такое системы пониженной размерности?
5. Что такое наночастицы?
6. Что такое квантоворазмерные структуры?
7. Что такое магнитные мультислои?
8. Что такое нитевидных нанокристаллы?
9. Как устроены транзисторы с высокой подвижностью электронов?
10. Назовите законы Амонтона-Кулона?
11. Опишите модели Баудена-Табора.

2. Решение задач

Примерный список задач

Задание 1.1. Рассчитайте и постройте графически соотношение между шириной одномерной прямоугольной потенциальной ямы с бесконечной высотой барьера и энергией первого разрешенного состояния E_1 в ней, варьируемой в диапазоне от 0,05 эВ до 2 эВ для электронов с эффективными массами $m^* = 0,05m_0, 0,10m_0$ и $0,15m_0$.

Задание 1.2. Рассчитайте и постройте графически соотношение между шириной квантовой прямоугольной потенциальной ямы с высотой барьера $U_0 = 0,5, 1,0, 3$ эВ и энергией первого разрешенного состояния $E_1 = 0,05U_0, 0,1U_0, 0,3U_0, 0,5U_0$ для электронов с эффективной массой $m^* = 0,06m_0$.

Задание 1.3. Рассчитайте значение ширины прямоугольной потенциальной ямы, при котором энергетический зазор между первым и вторым разрешенными состояниями в ней был равен 0,05, 0,1 и 0,13 эВ при эффективной массе электронов $m^* = 0,06m_0$ и высоте барьера $U_0 = 2$ эВ и $U_0 = \infty$.

Тема 2. Резонансно-туннельные диоды. ВАХ туннельного диода.

1. *Опрос*
1. Опишите структуру РТД.
2. В чем заключается принцип действия РТД?
3. ВАХ РТД.
2. *Решение задач*

Примерный

список

задач

Задание 2.1. Постройте энергетическую диаграмму гетеропереходов Si/Ge, GaAs/InAs, AlN/GaN, CaF₂/Si, сконструируйте из них периодические квантовые колодцы и определите их тип согласно данным табл. 1.4

Задание 2.2. Определите, сколько разрешенных энергетических уровней помещается в области двумерного электронного газа модуляционно-легированной структуры AlGaAs/GaAs при ее ширине (на уровне дна зоны проводимости в GaAs) $a = 20$ нм и сколько из них будут заняты при концентрации доноров в GaAs $N_D = 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ в эффективных полях $F_s = 0,8 \cdot 10^7$ и $1,6 \cdot 10^7$ В/м. За нулевую точку на шкале энергий примите минимум потенциала (глубина минимума относительно дна зоны проводимости равна U_0) в области двумерного электронного газа, относительно которого определите положение уровня Ферми, используя соотношение $(E_c - E_F) = k_B T \ln(N_c / N_D)$, где $N_c = 4,7 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ – эффективная плотность состояний в зоне проводимости GaAs.

Тема 3. Энергетическая диаграмма туннельного диода.

1. *Опрос*

1. Изобразите графически энергетическую диаграмму туннельного диода при отсутствии напряжения.
2. Изобразите графически энергетическую диаграмму туннельного диода при небольшом прямом напряжении.
3. Изобразите графически энергетическую диаграмму туннельного диода при напряжении пика.
4. Изобразите графически энергетическую диаграмму туннельного диода при напряжении, соответствующем отрицательной дифференциальной проводимости.
5. Изобразите графически энергетическую диаграмму туннельного диода при напряжении впадины.
6. Изобразите графически энергетическую диаграмму туннельного диода при обратном напряжении.

2. *Решение задач*

Примерный список задач

Задание 3.1. Рассчитайте затраты энергии на формирование объема кристаллической фазы, формирование поверхности кристаллической фазы и изменение свободной энергии системы, в которой зарождается эта кристаллическая фаза, в зависимости от размера кристаллических зародышей в диапазоне от 0 до 3 нм, если система характеризуется следующими параметрами: $\Delta g = 5 \cdot 10^7 \text{ Дж/м}^3$, $\sigma^* = 0,03 \text{ Дж/м}^2$. Найдите размер критического кристаллического зародыша.

Задание 3.2. Рассчитайте скорость образования кристаллитов из критических зародышей размером 1 нм и 2 нм в зависимости от температуры в диапазоне 500–1000 °С в системе с параметрами $\Delta g = 10^8 \text{ Дж/м}^3$, $\sigma^* = 0,07 \text{ Дж/м}^2$, $E_a = 0,02 \text{ эВ}$.

Тема 4. Обращенный диод.

1. *Опрос* Опишите структуру обращенного диода.
2. Где применяется обращенный диод?
3. Изобразите графически ВАХ обращенного диода.
2. *Решение задач*

Примерный список задач

Задание 4.1. Определите зависимость коэффициента прохождения электронных волн с одинаковыми начальными фазами кольцевого интерферометра Ааронова–Бома от индукции внешнего магнитного поля B в диапазоне 0,5–1,0 Тл при условии, что толщина кольца много меньше его диаметра d . Расчеты проведите для $d = 0,5, 1,0$ и $1,2$ мкм. Найдите закономерность изменения периода колебаний выходного сигнала с ростом диаметра кольца.

Задание 4.2. В рамках формализма Ландауэра–Бюттикера рассчитайте сопротивление $R_{14,23}$ крестообразного четырехполюсника в единицах h/e^2 , помещенного в магнитное поле перпендикулярное его плоскости, в зависимости от относительного изменения энергии электронов $(E - E_F)/\hbar\omega_c$ в диапазоне от $-0,4$ до $+0,4$ для следующих вариантов:

- вариант 1 — число проводящих каналов $N = 1, 2$, индукция магнитного поля 6 Тл;
- вариант 2 — число проводящих каналов $N = 1$, индукция магнитного поля 4, 7 и 10 Тл.

В расчете используйте следующие соотношения: $\Gamma_1 = 0$, $\Gamma_2 = \Gamma_4 = 0,02\hbar\omega_c$, $\Gamma_3 = 0,17\hbar\omega_c$, $m^* = 0,01m_0$.

Тема 5. Структура транзистора на горячих электронах.

1. Опрос

1. Опишите структуру транзистора на горячих электронах.
2. Где применяются транзисторы на горячих электронах?
3. Как изготавливаются транзисторы на горячих электронах?

2. Решение задач

Примерный список задач

Задание 5.1. Для однобарьерной туннельной структуры рассчитайте изменение электростатической энергии ΔE , пороговое напряжение $|V_n|$, величину кулоновского зазора и критические условия для проявления кулоновской блокады. Емкость островка варьируйте в диапазоне $10^{-19} \div 10^{-18}$ Ф, а величину внешнего приложенного напряжения — от нуля до значения, при котором возникает кулоновская блокада.

Задание 5.2. Рассчитайте вольтамперные характеристики симметричной двухбарьерной туннельной структуры, соответствующие упругому и неупругому сотуннелированию в ней при температурах 10, 80 и 300 К в диапазоне приложенных напряжений 0–2 В при емкости барьеров 10^{-18} Ф каждый.

Примите:

$\sigma_1 = \sigma_2 = 0,5 \text{ (мкОм} \cdot \text{м)}^{-1}$ — проводимости барьеров в отсутствии туннельных процессов;

$\Delta = e^2/C$ — средний энергетический зазор между состояниями в островке;

$E_1 = 0,05 \text{ эВ}$, $E_2 = 0,03 \text{ эВ}$.

Тема 6. Транзисторы с резонансным туннелированием.

1. Опрос

1. Опишите структуру транзистора с резонансным туннелированием.
2. Где применяются транзисторы с резонансным туннелированием?
3. Как изготавливаются транзисторы с резонансным туннелированием?

2. Решение задач

Примерный список задач

Задание 6.2. Рассчитайте энергетическое положение резонансных уровней в резонансно-туннельной структуре AlGaAs/GaAs/AlGaAs с шириной барьеров 1 нм и шириной колодцев 1, 2 и 3 нм, используя условия квантового ограничения и коэффициенты туннельной прозрачности структуры в рамках приближения квантово-механического импеданса потенциальных барьеров. Эффективную массу электронов в AlGaAs примите равной $0,09m_0$, в GaAs равной $0,067m_0$, $U = 0,23$ эВ.

Задание 6.3. Определите зависимость тока от приложенного потенциала в области 0–0,1 В для двухбарьерных резонансно-туннельных структур AlAs/GaAs/AlAs с резонансными уровнями энергии 0,06 эВ и 0,07 эВ в приближении их лоренцевской формы. Примите $E_F = 0,054$ эВ, $m^* = 0,067m_0$, $\tau = 10^{-13}$ с, $J_0 = 4,5 \cdot 10^3$ А/м², $T = 300$ К.

Тема 7. Энергетическая диаграмма транзистора на горячих электронах.

1. *Опрос*
1. Опишите структуру транзистора на горячих электронах.
2. Где применяются транзисторы на горячих электронах?
3. Как изготавливаются транзисторы на горячих электронах?

4. Изобразите графически энергетическую диаграмму транзистора на горячих электронах

2. *Решение задач*

Примерный список задач

Задание 7.3. Рассчитайте сопротивление на единицу площади 25-периодных структур Co/Cu и Ni/Cu в перпендикулярном слоям направлении при параллельной и антипараллельной намагниченности ферромагнитных слоев для случаев: а) толщина ферромагнитного слоя постоянна и составляет 10 нм, а толщина немагнитного слоя изменяется от 2 до 10 нм; б) толщина немагнитного слоя постоянна и составляет 5 нм, а толщина ферромагнитного слоя изменяется от 2 до 16 нм. В расчетах используйте параметры материалов, приведенные в таблице к Заданию 7.1.

Тема 8. Полевые транзисторы с резонансным туннелированием.

1. *Опрос*

1. Опишите структура полевых транзисторов с резонансным туннелированием.
2. Где применяются полевые транзисторы с резонансным туннелированием?
3. Как изготавливаются транзисторы на горящих электронах?

2. *Решение задач*

Примерный список задач

Задание 8.2. Рассчитайте коэффициент прохождения для электронов со спином вверх и спином вниз наноструктуры ферромагнетик/диэлектрик/ферромагнетик в зависимости от высоты туннельного барьера U в диапазоне 2–5 эВ для толщин диэлектрика 1, 2 и 3 нм.

Примите:

$\hbar_0 = 1,9$ эВ – молекулярное поле в эмиттирующем электроны ферромагнетике;

$E_F = 1,3$ эВ – энергия Ферми в эмиттирующем электроны ферромагнетике;

$m_d = 0,4m_0$ – эффективная масса электронов в диэлектрике;

$\theta = \pi/4$ – угол между векторами намагниченности ферромагнитных слоев.

Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

Вопрос 1. Какими инструментами пользуются нанотехнологи?

- 1) туннельным микроскопом
- 2) опытным микроскопом
- 3) дрелью
- 4) 3d микроскопом

Вопрос 2. Что такое нано?

- 1) одна миллиардная
- 2) одна миллионная
- 3) одна десятая

Вопрос 3. На сегодняшний день нанотехнологии делят на три направления. Какие?

- 1) сборка из отдельных атомов любых веществ и объектов
- 2) сборка необычных объектов и веществ
- 3) изготовление электронных схем размером до нескольких атомов
- 4) создание роботов

5) создание наномашин (механизмов размером в несколько атомов) Вопрос 4. Наночастицы принадлежат одному из измерений:

- 1) от 1 до 1 000 000 000 нанометров
- 2) от 1 до 100 нанометров

3) от 1 до 2 нанометров

Вопрос 5. Как называется знаменитая книга Э. Дрекслера, посвящённая нанотехнологии?

Вопрос 6. В каком году Р. Фейнман выдвинул идею о развитии нанотехнологии?

Вопрос 7 Кто из ученых создал транзистор на основе нанотехнологий?

- 1) Норио Танигути
- 2) Ричард Фейнман
- 3) Эрик Дрекслер
- 4) Сеез Деккер

Вопрос 8. Согласны ли вы, что нанотехнологии обеспечивают возможность создавать и модифицировать объекты, которые включают компоненты с размерами более 1000 нанометров, принципиально нового качества.

- 1) да
- 2) нет

Вопрос 9. В каком году изобрели учёные из АВМ первый инструмент для манипуляции атомами – туннельный микроскоп?

Вопрос 10. В каких сферах деятельности людей прогресс в применении нанотехнологий уже виден на сегодняшний день?

- 1) медицина
- 2) спорт
- 3) педагогика
- 4) сельское хозяйство
- 5) электроника
- 6) энергетика
- 7) экология
- 8) пищевая промышленность
- 9) биология
- 10) лёгкая промышленность

Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Что такое наноэлектроника?
2. Что такое низкоразмерная структура?
3. Что такое наноразмерная структура?
4. Какие электронные волны могут существовать в квантовом колодце, размеры которого соизмеримы с длиной волны электрона?
5. Каким соотношением описывается спектр разрешенных энергетических состояний электронов в прямоугольной и параболической квантовых ямах?
6. Какой критерий используется для классификации элементарных низкоразмерных структур?
7. Что такое квантовая пленка, квантовый шнур, квантовая точка?
8. Что такое двумерный электронный газ?
9. Что такое длина свободного пробега носителя заряда?
10. Что такое баллистический транспорт носителей заряда?

Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Почему кремний является основным материалом современной микро- и наноэлектроники?
2. Какие причины сдерживают использование монокристаллического кремния в оптоэлектронике?
3. Сравните электрические сопротивления монокристаллического и пористого кремния.
4. Сравните теплопроводности монокристаллического и пористого кремния.
5. Какие составы электролитов используются при формировании низкоразмерного кремния?
6. Присутствие носителей заряда какого знака необходимо для получения низкоразмерного

кремния?

7. Какой потенциал подается на кремниевый образец при анодировании?
8. Что произойдет, если плотность тока на кремниевом образце превысит критическую?
9. Как влияет вязкость электролита на процесс формирования низкоразмерного кремния при анодировании?
10. Изобразите ВАХ при получении пористого кремния на образцах n- и p-типа.

Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Что такое наноэлектроника?
2. Что такое низкоразмерная структура?
3. Что такое наноразмерная структура?
4. Какие электронные волны могут существовать в квантовом колоде, размеры которого соизмеримы с длиной волны электрона?
5. Каким соотношением описывается спектр разрешенных энергетических состояний электронов в прямоугольной и параболической квантовых ямах?
6. Какой критерий используется для классификации элементарных низкоразмерных структур?
7. Что такое квантовая пленка, квантовый шнур, квантовая точка?
8. Что такое двумерный электронный газ?
9. Что такое длина свободного пробега носителя заряда?
10. Что такое баллистический транспорт носителей заряда?
11. Какими параметрами характеризуют транспорт носителей заряда в твердотельных структурах?
12. Как соотносятся средние длины свободного пробега носителей заряда при неупругом и упругом рассеянии?
13. Чему равна квантовая единица проводимости?
14. Что такое квантовый точечный контакт?
15. Что такое туннелирование квантовой частицы?
16. Каким соотношением описывается туннельная прозрачность прямоугольного потенциального барьера конечной ширины?
17. Каким соотношением описывается туннельная прозрачность потенциального барьера произвольной формы?
18. Что такое точка поворота?
19. Что такое собственная спиновая поляризация электронов в материале?
20. В каком диапазоне находится типичная спиновая поляризация электронов в ферромагнетиках?
21. Что такое температура Кюри?
22. Что такое разбавленные магнитные полупроводники?
23. Что такое длина спиновой релаксации?
24. Чем контролируется спиновая поляризация электронов в материале?
25. Каковы особенности магнитных свойств наноразмерных структур, изготовленных из ферромагнитных материалов?
26. Что такое реконструкция поверхности кристалла?
27. Каковы структурные особенности нереконструированной поверхности кристалла?
28. К чему приводит адсорбция примесных атомов на поверхности кристалла?
29. Что такое межфазная граница?
30. Чем определяется резкость межфазной границы?
31. Что такое сверхрешетка?
32. Что такое псевдоморфная сверхрешетка и каковы требования к формирующим ее материалам?
33. Что такое напряженная сверхрешетка и при каких условиях она образуется?
34. Что такое релаксированная сверхрешетка и при каких условиях она образуется?

35. Как формулируется правило Вегарда?
36. Какой подход лежит в основе метода молекулярной динамики?
37. Какова последовательность действий по определению оптимального расположения атомов в материале методом молекулярной динамики?
38. Как описывается взаимодействие атомов внутри выделенного для анализа объема?
39. Как описывается поведение атомов у границы выделенного для анализа объема?
40. Как преодолеть компьютерные ограничения на размер выделенной для анализа области?
41. В чем сущность метода молекулярной механики?
42. В чем состоит принципиальное отличие методов молекулярной динамики и молекулярной механики?
43. Как сформировать квантовый колодец из полупроводниковых материалов?
44. Что такое сродство к электрону?
45. Что такое работа выхода?
46. Как формулируется правило Андерсона?
47. Каковы основные особенности энергетических зон в периодических квантовых колодцах типа I и типа II?
48. Где локализуются подвижные носители заряда (электроны и дырки) в периодических квантовых колодцах типа I и типа II?
49. Что такое модуляционно-легированная структура?
50. Что такое дельта-легированная структура?
51. Где в МОП-структуре возможно формирование области с двумерным электронным газом?
52. Чем можно регулировать толщину области с двумерным электронным газом в МОП-структуре?
53. Что такое структура с расщепленным затвором?
54. Какую топологию должен иметь металлический расщепленный затвор, чтобы «вырезать» из нижележащей области полупроводника с двумерным электронным газом квантовую точку, квантовый шнур, квантовый точечный контакт?
55. Что такое нанотехнология?
56. В чем отличие технологических принципов «сверху-вниз» и «снизу-вверх»?
57. Какие соединения называют металлоорганическими?
58. Какие соединения называют гидридами?
59. Как устроена установка для химического осаждения из газовой фазы?
60. Каковы особенности химического осаждения из газовой фазы при пониженном давлении реагентов?
61. Каковы особенности химического осаждения из газовой фазы, стимулированного газоразрядной плазмой?
62. В чем суть метода осаждения атомарных слоев?
63. Каковы особенности химического осаждения из газовой фазы, стимулированного электронным или ионным лучом?
64. Каковы общие основные достоинства и недостатки методов химического осаждения из газовой фазы?
65. Как устроена установка молекулярно-лучевой эпитаксии?
66. Каков диапазон значений давления газов в рабочей камере установки молекулярно-лучевой эпитаксии?
67. Какие методы используют для мониторинга процесса молекулярно-лучевой эпитаксии?
68. Каковы основные достоинства и недостатки метода молекулярно-лучевой эпитаксии?
69. В чем суть метода электрохимического осаждения материалов?
70. Как формулируются законы Фарадея для электрохимического осаждения материалов?

71. Какими параметрами процесса электрохимического осаждения определяются свойства сформированных таким образом пленок?
72. Каковы особенности электрохимического осаждения полупроводниковых соединений?
73. Какие подходы используют для формирования наноструктур - нанопроводов, нанотрубок и наноточек - электрохимическим осаждением материалов?
74. Каковы основные достоинства и недостатки метода электрохимического осаждения материалов?
75. В чем сущность метода электрохимического оксидирования (анодирования) материалов?
76. Как выглядит анодная поляризационная кривая и каким процессам соответствуют ее основные участки?
77. Какими параметрами процесса электрохимического оксидирования определяются свойства сформированных таким образом оксидных пленок?
78. В каких режимах проводят анодное оксидирование и чем они отличаются?
79. Какова роль электролита в формировании анодных оксидных пленок?
80. Каковы особенности электрохимического оксидирования металлов и полупроводников?
81. В чем состоят основные достоинства и недостатки метода электрохимического оксидирования материалов?
82. Какое явление лежит в основе метода сканирующей туннельной микроскопии?
83. Какими элементами осуществляют перемещение зонда на субнанометровые расстояния?
84. Каковы основные режимы работы сканирующего туннельного микроскопа?
85. Как можно распознать химическую природу атомов под зондом сканирующего туннельного микроскопа?
86. Какое явление лежит в основе метода атомной силовой микроскопии?
87. Как контролируют отклонение консоли с зондом от равновесного положения в атомном силовом микроскопе?
88. Какую напряженность электрического поля и плотность тока можно достичь в зазоре зонд-подложка?
89. Какие группы процессов используют для манипулирования атомами?
90. Как реализуется перенос атомов с использованием полевой диффузии, скольжения, контактного переноса, полевого испарения, электромиграции?
91. Какие основные достоинства и недостатки присущи методам атомной инженерии?
92. Какой механизм окисления металлов и полупроводников реализуется при использовании сканирующих зондов?
93. Каков типичный диапазон толщин оксидных слоев, формируемых зондовыми методами?
94. Каковы основные механизмы, обеспечивающие зондовое локальное химическое осаждение материалов из газовой фазы?
95. Каков типичный диапазон толщин слоев материалов, осаждаемых зондами? Каковы типичные параметры электронного луча, используемого для электронно-лучевой литографии?
96. Какие материалы используют в качестве резистов для электронно-лучевой литографии?
97. Какое разрешение обеспечивает электронно-лучевая литография?
98. Что принципиально ограничивает разрешающую способность электронно-лучевой литографии?
99. Пленки из каких материалов могут быть профилированы с использованием взрывной литографии?
100. Каковы основные достоинства и недостатки электронно-лучевой литографии?
101. Какие основные механизмы модификации резистов используют для нанолитографии сканирующими зондами?
102. Каковы типичные энергии электронов, используемых для зондовой электронно-лучевой литографии?

103. Как осуществляется перьевая нанолитография?
104. Какое разрешение обеспечивают зондовые нанолитографические методы?
105. Каковы основные достоинства и недостатки зондовых нанолитографических методов?
106. Как осуществляется чернильная печать?
 107. Какие материалы используют в качестве резистов для нанолитографии чернильной печатью?
108. Как осуществляется тиснение?
109. Какие материалы используют в качестве резистов для нанолитографии тиснением?
110. Как осуществляется нанопечать с фотополимеризацией мономера?
111. Какое разрешение обеспечивают методы нанопечати?
112. Каковы основные достоинства и недостатки нанопечати?
 113. Какой разрешающей способностью характеризуются методы оптической литографии, электронно-лучевой литографии, зондовой нанолитографии, нанопечати, рентгеновской литографии, ионно-лучевой литографии?
 114. Охарактеризуйте по производительности возможности методов оптической литографии, электронно-лучевой литографии, зондовой нанолитографии, нанопечати, рентгеновской литографии, ионно-лучевой литографии?
115. Что такое самосборка и какой движущей силой она обусловлена?
 116. Какие химические соединения используют в качестве прикрепляющей группы, промежуточной группы, поверхностной функциональной группы?
 117. Какие свойства молекулярных пленок, сформированные самосборкой, делают их привлекательными для нанолитографии?
118. Что такое самоорганизация и какой движущей силой она обусловлена?
 119. Как описывается изменение свободной энергии кристаллического зародыша, связанное с увеличением его объема и его поверхности?
 120. Каковы основные факторы, влияющие на скорость образования кристаллических зародышей?
121. Что такое золь?
122. Что такое гель?
123. Как происходят золь-гель-превращения?
 124. Какие методы и технологии подходят для формирования нанокристаллитов в объеме материалов?
 125. Как происходит рост тонких пленок в режиме Франка - Ван дер Мерве, режиме Волмера- Вебера, режиме Странского-Крастанова?
126. Что такое вицинальная поверхность?
 127. Какие низкоразмерные структуры можно формировать самоорганизацией на вицинальных поверхностях?
128. При каких условиях реализуется режим Странского-Крастанова?
 129. Каковы критические условия д.Л'Я перехода от двумерного роста сплошной пленки к трехмерному росту островков в режиме Странского-Крастанова?
 130. Как распределены напряжения в монокристаллических островках, сформированных в режиме Странского-Крастанова?
 131. Какие низкоразмерные структуры возможно формировать в режиме Странского-Крастанова?
132. Как описывается формирование островковых структур в режиме Волмера-Вебера?
133. Что представляет собой Ленгмюровская пленка?
134. Что представляет собой пленка Ленгмюра-Блоджетт?
135. Что такое гидрофильные, гидрофобные, амфифильные вещества?
136. Как наносят пленки Ленгмюра-Блоджетт?

137. Каковы особенности строения пленок X-, Y- и Z-типов?
138. Как формируют пленки методом Шайфера?
139. Что такое пористый кремний?
140. Как получают пористый кремний?
141. Какие низкоразмерные структуры присутствуют в пористом кремнии?
142. Какие свойства исходного кремния влияют на тип и размер пор, формируемых его анодированием?
143. Какие параметры анодной обработки влияют на тип и размер пор формируемого пористого кремния?
144. Какие типы пористых структур возможно сформировать в кремнии?
145. Какова структура кремния в межпоровом пространстве?
146. Какова структура пористого анодного оксида алюминия?
147. Каков основной механизм движения ионов, образующих оксид алюминия при анодировании?
148. Из каких основных стадий состоит процесс анодного окисления алюминия?
149. От чего зависит размер ячейки пористого анодного оксида алюминия?
150. От чего зависит диаметр поры в ячейке пористого анодного оксида алюминия?
151. Какими основными свойствами обладает пористый анодный оксид алюминия?
152. Какие металлы относят к тугоплавким?
153. Какими привлекательными электронными свойствами обладают оксиды тугоплавких металлов?
154. Как получают оксид титана с губкообразной пористой структурой?
155. Как получают оксид титана с нанотрубчатой структурой?
156. Как получают и каковы свойства наноструктурированного оксида вольфрама?
157. Как получают и каковы свойства наноструктурированного оксида гафния?
158. Каковы области применения наноструктурированных оксидов тугоплавких металлов?
159. Каковы низкоразмерные формы углеродных структур?
160. Что такое графен?
161. Как получают графен?
162. Какими основными свойствами обладает графен?
163. От чего зависят электронные свойства графеновых лент?
164. Что такое углеродная нанотрубка и какими параметрами структуры она характеризуется?
165. Какими электронными свойствами обладают одностенные углеродные нанотрубки?
166. Каковы электронные свойства многостенных углеродных нанотрубок?
167. Какие методы используют для получения углеродных нанотрубок?
168. Что такое фуллерены?
169. Какой из фуллеренов обладает наивысшей симметрией и большей стабильностью?
170. Какими основными свойствами обладают фуллерены?
171. Что такое эндоэдральные и экзоэдральные фуллерены, гетерофуллерены?
172. Как получают фуллерены?
173. Что такое фуллерит?
174. Ограничение масштабирования структур.
175. Волна де Бройля.
176. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.
177. Стационарное уравнение Шредингера.
178. . Интеграл Ферми ($F-1/2$). 179 Дельта-функция.
180. Энергия кулоновского взаимодействия электронов и дырок.
181. Кинетическое уравнение Больцмана.
182. Упругое рассеяние.

183. Неупругое рассеяние.
184. Примеры материалов со спиновой поляризацией (5 видов).
185. Температура Кюри.
186. Структура алмаза.
187. Структура цинковой обманки.
188. Подложки для гексагональных решеток эпитаксиальных структур.
189. Кристаллит.
190. Потенциал парного взаимодействия в форме Ленарда-Джонсона.
191. Потенциал парного взаимодействия в форме Борна-Мейера.
192. Потенциал парного взаимодействия в форме Морзе.
193. Потенциал парного взаимодействия в форме Букингема.
194. Обычные безщелевые полупроводники.
195. Функция Эйри.
196. Кулоновское взаимодействие.
197. Боровский радиус.
198. Поверхностная топология структуры с расщепленным затвором для формирования квантовых точек.

Таблица 9. Примеры оценочных средств с ключами правильных ответов

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
ПК-2: Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения...				
1.	Задание закрытого типа	1. Добавление акцепторных примесей в полупроводник позволяет: 1) Повысить количество свободных дырок 2) Понизить количество свободных дырок 3) Повысить количество свободных электронов 4) Понизить количество свободных электронов Добавление акцепторных примесей не влияет на образование носителей заряда	1	2
2.		. Как изменяется толщина р-п перехода при прямом смещении? 1) Увеличивается 2) Уменьшается 3) Не изменяется 4) Толщина перехода сначала увеличивается, затем за счет увеличения падения	2	2

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
		напряжения уменьшается Сначала уменьшается, затем за счет увеличения тока увеличивается		
3.		3. Как изменяется сопротивление фотодиода при освещении? 1) Незначительно увеличивается; 2) Незначительно уменьшается; 3) Значительно увеличивается; 4) Значительно уменьшается; Не изменяется;	4	2
4.		4. Демультимплексор служит для 1) передачи информации с одного из входов на соответствующий выход 2) передачи информации с одного из входов на общий выход 3) передачи информации с одного из входов на все выходы 4) передачи информации с одного входа на соответствующий выход 5) для расширения информации	4	3
5.		5. Каких элементов нет в микросхеме 1) резисторов 2) конденсаторов 3) транзисторов 4) катушек индуктивности 5) диодов	4	3
6.	Задание открытого типа	Фотодиод – это?	Полупроводниковый прибор, значение тока которого пропорционального интенсивности светового потока	5-8
7.		Полевой транзистор – это?	Полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены	5-8

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
			потоком основных носителей, протекающим через проводящий канал и управляемый электрическим полем	
8.		Канал – это?	Проводящий слой,	5-8
9.		Модуляция – это?	Изменение одного из параметров несущего сигнала по закону модулирующего	5-8
10.		Электронные лампы– это...	Приборы, в которых ток создаётся потоком электронов в вакууме;	5-8
11.	Задание комбинированного типа	Добавление акцепторных примесей в полупроводник позволяет: 5) Повысить количество свободных дырок 6) Понизить количество свободных дырок 7) Повысить количество свободных электронов 8) Понизить количество свободных электронов Обоснуйте ответ	1	5-8
12.		Как изменяется толщина р-п перехода при прямом смещении? 5) Увеличивается 6) Уменьшается 7) Не изменяется Обоснуйте ответ	2	5-8
13.		Как изменяется сопротивление фотодиода при освещении? 5) Незначительно увеличивается; 6) Незначительно уменьшается; 7) Значительно увеличивается; 8) Значительно уменьшается;	4	5-8

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
		Не изменяется; Обоснуйте ответ		
14.		Демультимплексор служит для 6) передачи информации с одного из входов на соответствующий выход 7) передачи информации с одного из входов на общий выход 8) передачи информации с одного из входов на все выхода 9) передачи информации с одного входа на соответствующий выход 10) для расширения информации Обоснуйте ответ	4	5-8
15.		Каких элементов нет в микросхеме 6) резисторов 7) конденсаторов 8) транзисторов 9) катушек индуктивности 10) диодов Обоснуйте ответ	4	5-8

Полный комплект оценочных материалов по дисциплине (модулю) (фонд оценочных средств) хранится в электронном виде на кафедре, утверждающей рабочую программу дисциплины (модуля).

7.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

Таблица 10. Технологическая карта рейтинговых баллов по дисциплине (модулю)

№ п/п	Контролируемые мероприятия	Количество мероприятий / баллы	Максимальное количество баллов	Срок представления
Основной блок				
1.	<i>Ответ на занятии</i>	10/4* /1**	40* / 10**	
2.	<i>Выполнение лабораторных работ</i>	10/5* /3**	50* / 30**	
Всего			90* / 40**	-
Блок бонусов				
3.	<i>Посещение занятий</i>	10/0,5	5	
4.	<i>Своевременное выполнение всех заданий</i>	10/0,5	5	

Всего			10	-
Дополнительный блок**				
5.	<i>Зачет</i>	1/50	50	
Всего			50	-
ИТОГО			100	-

Таблица 11. Система штрафов (для одного занятия)

Показатель	Балл
<i>Опоздание на занятие</i>	-5
<i>Нарушение учебной дисциплины</i>	-5
<i>Неготовность к занятию</i>	-10
<i>Пропуск занятия без уважительной причины</i>	-10

Таблица 12. Шкала перевода рейтинговых баллов в итоговую оценку за семестр по дисциплине (модулю)

Сумма баллов	Оценка по 4-балльной шкале	
90–100	5 (отлично)	Зачтено
85–89	4 (хорошо)	
75–84		
70–74		
65–69	3 (удовлетворительно)	
60–64		
Ниже 60	2 (неудовлетворительно)	Не зачтено

При реализации дисциплины (модуля) в зависимости от уровня подготовленности обучающихся могут быть использованы иные формы, методы контроля и оценочные средства, исходя из конкретной ситуации.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

8.1. Основная литература

1. Букина, Е. Я. Электроника и наноэлектроника: введение в направление: хрестоматия / сост. Е. Я. Букина, Р. Л. Горбунов, Н. А. Севостьянов, С. А. Харитонов. - Новосибирск: НГТУ, 2019. 200 с. URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778239715.html> (ЭБС «Консультант студента»)
2. Борисенко, В. Е. Наноэлектроника: теория и практика: учебник / Борисенко В. Е., Воробьева А. И., Данилюк А. Л., Уткина Е. А. - 5-е изд. - Москва: Лаборатория знаний, 2020. - 369 с. Систем. требования: Adobe Reader XI; экран 10". (Учебник для высшей школы) - URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785001017325.html> (ЭБС «Консультант студента»)
3. Игнатов, А. Н. Наноэлектроника. Состояние и перспективы развития: учеб. пособие / Игнатов А. Н. Москва: ФЛИНТА, 2012. – 360 с. - URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785976516199.html> (ЭБС «Консультант студента»)

8.2. Дополнительная литература

1. Орлова, М. Н. Наноэлектроника: курс лекций / М. Н. Орлова, И. В. Борzych - Москва: МИСиС, 2013. – 50 с. - URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785876237255.html>

(ЭБС «Консультант студента»)

2. Шука, А. А. Нанозлектроника: учебное пособие / Шука А. А.; под ред. А. С. Сигова. - 5-е изд. - Москва: Лаборатория знаний, 2020. - 345 с. Систем. требования: Adobe Reader XI; экран 10". (Нанотехнологии) - URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785001017301.html> (ЭБС «Консультант студента»)

8.3. Интернет-ресурсы, необходимые для освоения дисциплины (модуля)

1. **Электронно-библиотечная система (ЭБС) ООО «Политехресурс» «Консультант студента».** Многопрофильный образовательный ресурс «Консультант студента» является электронной библиотечной системой, предоставляющей доступ через сеть Интернет к учебной литературе и дополнительным материалам, приобретенным на основании прямых договоров с правообладателями. Каталог в настоящее время содержит около 15000 наименований. www.studentlibrary.ru.

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Для проведения занятий по дисциплине имеются лекционные аудитории, оборудованные мультимедийной техникой с возможностью презентации обучающих материалов; аудитории для проведения семинарских и практических занятий, оборудованные учебной мебелью; библиотека с местами, оборудованными компьютерами, имеющими доступ к сети Интернет.

Рабочая программа дисциплины (модуля) при необходимости может быть адаптирована для обучения (в том числе с применением дистанционных образовательных технологий) лиц с ограниченными возможностями здоровья, инвалидов. Для этого требуется заявление обучающихся, являющихся лицами с ограниченными возможностями здоровья, инвалидами, или их законных представителей и рекомендации психолого-медико-педагогической комиссии. Для инвалидов содержание рабочей программы дисциплины (модуля) может определяться также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида (при наличии).

10. ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) ПРИ ОБУЧЕНИИ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

Рабочая программа дисциплины (модуля) при необходимости может быть адаптирована для обучения (в том числе с применением дистанционных образовательных технологий) лиц с ограниченными возможностями здоровья, инвалидов. Для этого требуется заявление обучающихся, являющихся лицами с ограниченными возможностями здоровья, инвалидами, или их законных представителей и рекомендации психолого-медико-педагогической комиссии. При обучении лиц с ограниченными возможностями здоровья учитываются их индивидуальные психофизические особенности. Обучение инвалидов осуществляется также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида (при наличии).

Для лиц с нарушением слуха возможно предоставление учебной информации в визуальной форме (краткий конспект лекций; тексты заданий, напечатанные увеличенным шрифтом), на аудиторных занятиях допускается присутствие ассистента, а также сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков. Текущий контроль успеваемости осуществляется в письменной форме: обучающийся письменно отвечает на вопросы, письменно выполняет практические задания. Доклад (реферат) также может быть представлен в письменной форме, при этом требования к содержанию остаются теми же, а требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т. д.) заменяются на соответствующие требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т. д.). Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями слуха проводится в письменной

форме, при этом используются общие критерии оценивания. При необходимости время подготовки к ответу может быть увеличено.

Для лиц с нарушением зрения допускается аудиальное предоставление информации, а также использование на аудиторных занятиях звукозаписывающих устройств (диктофонов и т. д.). Допускается присутствие на занятиях ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь. Текущий контроль успеваемости осуществляется в устной форме. При проведении промежуточной аттестации для лиц с нарушением зрения тестирование может быть заменено на устное собеседование по вопросам.

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, на аудиторных занятиях, а также при проведении процедур текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации могут быть предоставлены необходимые технические средства (персональный компьютер, ноутбук или другой гаджет); допускается присутствие ассистента (ассистентов), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь (занять рабочее место, передвигаться по аудитории, прочитывать задание, оформить ответ, общаться с преподавателем).