



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физический факультет

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Наноэлектроника»

Кафедра инженерной физики

Образовательная программа

по направлению

11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Профиль подготовки

Микроэлектроника и твердотельная электроника

Уровень высшего образования

Бакалавриат,

Форма обучения

очная

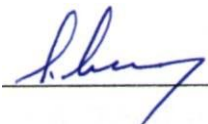
Статус дисциплины: базовая

Махачкала
2020

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04- Электроника и наноэлектроника, профиль подготовки: Микроэлектроника и твердотельная электроника (уровень: бакалавриата) – Приказ Минобрнауки России от 12.03.2015 № 218.

Разработчик: кафедра инженерной физики,
Нурмагомедов Шамиль Абдулаевич, к.ф.-м.н., доцент

Рабочая программа дисциплины одобрена:
на заседании кафедры Инженерной физики от 17. 02. 2020 г., протокол
№ 6

Зав. кафедрой  Садыков С.А.

на заседании Методической комиссии физического факультета от 28. 02. 2020
г., протокол №6.

Председатель  Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управ-
лением 28. 02. 2020 г. 

Оглавление

Аннотация рабочей программы дисциплины	4
1. Цели и задачи изучения дисциплины.....	5
2. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата	5
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины(перечень планируемых результатов обучения)	5
4. Объем, структура и содержание дисциплины.....	7
4.1. Объем дисциплины	7
4.2. Структура дисциплины.	7
4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).	9
5. Образовательные технологии	12
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.....	13
7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.	14
7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.	14
7.2. Типовые контрольные задания.....	16
7.3. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.	19
8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.	19
9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	21
10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.....	21
11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.	23
12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	23

Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Нанoeлектроника» входит в *базовую* часть образовательной программы *бакалавриата* по направлению **11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**. Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой инженерной физики.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с получением нанoeлектронных материалов и устройств, изучением свойств устройств нанoeлектроники и особенностями их получения и применения этого класса материалов в устройствах электроники. Изучение принципиально новых классов наноматериалов, таких как, например, фуллерены и нанотрубки должны помочь будущим инженерам ориентироваться в выборе принципиально новых материалов электронной техники.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника: общепрофессиональных – ОПК-2, , профессиональных – ПК-1.

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: *лекции, практические занятия, самостоятельная работа*.

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме *контрольной работы, тестирования, устного опроса, коллоквиума и пр*) и промежуточный контроль в форме *экзамена*.

Объем дисциплины Зачетных единиц, в том числе в академических часах по видам учебных занятий

Семестр	Учебные занятия							Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен)	
	в том числе:								
	всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем					СРС, в том числе экзамен		
		всего	из них						
			Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	КСР			консультации
7	108	96	30		30	36		48	экзамен

1. Цели и задачи изучения дисциплины

Целью преподавания наноэлектроники является

- Изучение основных физических принципов, лежащих в основе функционирования приборов наноэлектроники..
- Формирование навыков анализа наиболее важных свойств наноструктур на основе полупроводников, металлов, диэлектриков и магнитоупорядоченных материалов и физических явлений в них.
- Обучение решению задач, актуальных для современной наноэлектроники.

Главная цель данного курса - ознакомить студентов с современными наноэлектронными устройствами, подготовить их к самостоятельному проектированию электронных схем, необходимых в научно-исследовательской работе, к дальнейшему углублению и расширению научно-технического образования с помощью специальной литературы.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата

Дисциплина «Наноэлектроника» относится к базовой части профессионального цикла дисциплин. Предварительно должны быть обязательно изучены такие дисциплины как «Физика твердого тела», «Высшая математика», «Физика», «Теоретические основы электротехники», «Материалы электронной техники», «Твердотельная электроника».

Основные положения дисциплины могут быть использованы в дальнейшем при изучении дисциплин: «Квантовая и оптическая электроника», «Тонкопленочная электроника».

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины(перечень планируемых результатов обучения) .

Компетенции	Формулировка компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)
ОПК-2	Способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующих физико-математический аппарат.	Знать: • основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности; • состояние и перспективы научно-технической проблемы разработки технологических процессов производства материалов и изделий электронной и микросистемной техники. • понимание современных тенденций развития материаловедения, электроники, измерительной и вычислительной техники, ин-

		формационных технологий. • методы вычислительной физики и математического моделирования структур, приборов или технологических процессов микро- и наноэлектроники. Уметь: • анализировать, систематизировать и обобщать научно-техническую информацию в области современной наноэлектроники • создавать и анализировать на основе физических законов и их следствий теоретические модели явлений природы, получить навыки использования в практике важнейших физических измерительных приборов и приемов • самостоятельно изучать и понимать специальную научную и методическую литературу, связанную с проблемами наноэлектроники. Владеть: • методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности
ПК-1	Способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	Знать: • основные закономерности формирования микроэлектронных приборов и структур; методы теоретических подходов в описании и изучении явлений в наноэлектронике. • основы производства полупроводниковых микросхем; • особенности электронных свойств неупорядоченных и аморфных материалов; Уметь: • описывать и качественно объяснять основные методы получе-

		ния изделий нанoeлектроники; моделировать физические процессы • использовать специализированные знания в области нанoeлектроники для обеспечения технологической реализации материалов и элементов электронной техники в приборах и устройствах электроники и нанoeлектроники • оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов в элементах нанoeлектроники Владеть: • методами количественного формулирования и решения задач в области нанoeлектроники; • методами самостоятельного изучения и анализа специальной научной и методической литературы, связанной с проблемами нанoeлектроники; • методами экспериментальных исследований свойств твердых тел на современном инновационном оборудовании.
--	--	---

4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 академических часов.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Разделы и темы дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)	Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежу-
-------	---------------------------	---------	-----------------	--	------------------------	--

				Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Контроль самостоятел. раб.		точной аттестации (по семестрам)
	Модуль 1 <i>Введение в нанотехнологию и в нанoeлектронику.</i>								
1.	История и современное состояние нанoeлектроники.	7		2					Домашнее задание (ДЗ)Собеседование (С)Рейтинговая система (РС)
2.	Технологические основы создания элементов микро-электроники.	7		2	4		2	2	(ДЗ), (С), (РС)
	<i>Итого по модулю 1:</i>			4	4		4	2	
	Модуль 2. <i>Физические основы нанoeлектроники.</i>								
3.	Квантовые ограничения на движение носителей заряда.	7		2	2		2	2	(ДЗ), (С), (РС)
4.	Баллистический транспорт носителей заряда.			2	2		2		(ДЗ), (С), (РС)
5.	Туннелирование носителей заряда	7		2	2		2	2	(ДЗ), (С), (РС)
	<i>Итого по модулю 2:</i>			6	6		6	4	
	Модуль 3. <i>Элементы низкоразмерных структур.</i>								
6.	Процессы на поверхности и в приповерхностных слоях.	7		2	2		2		(ДЗ), (С), (РС)
7.	Сверхрешетки.	7		2	2		2	2	(ДЗ), (С), (РС)
8.	Моделирование атомных конфигураций.	7		2	2		4		(ДЗ), (С), (РС)
9.	Квантовые колодцы.	7		2	2		2		(ДЗ), (С), (РС)
10.	Модуляционно-легированные структуры.	7		2	2		2		(ДЗ), (С), (РС)
	<i>Итого по модулю 3:</i>			10	10		12	2	
	Модуль 4. <i>Элементы нанoeлектроники.</i>								
11.	Структуры транзисторов МДП и с расщепленным затвором.	7		2	2				(ДЗ), (С), (РС)
12.	Транзисторы КНИ. Транзисторы с двойным затвором.	7		2	2		2	2	(ДЗ), (С), (РС)

13.	Полевые транзисторы. НЕМТ-транзисторы. резонансно - туннельные транзисторы.	7		2	2		2	2	(ДЗ), (С), (РС)
14.	Основы одноэлектроники.	7		2	2		4		(ДЗ), (С), (РС)
15.	Спинотроника.	7		2	2		2		(ДЗ), (С), (РС)
	<i>Итого по модулю 4:</i>			10	10		2	4	
	ИТОГО:			30	30		36	12	

4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).

Модуль 1. Введение в нанотехнологию и в нанoeлектронику.

История развития электроники и современное состояние нанoeлектроники. Тенденции создания нанотранзистора. Основные пути развития кремниевой элементной базы. Классификация интегральных микросхем по технологическому признаку: полупроводниковые и гибридные микросхемы. Микросхемы на биполярных и МДП-элементах. Интегральные микросхемы малой, средней и большой степени интеграции, сверхбольшие интегральные микросхемы. Основные технологии производства интегральных микросхем. Пути уменьшения размеров элементов. Проблемы скейлинга и пути их решения.

Модуль 2. Физические основы нанoeлектроники.

Фундаментальные явления, лежащие в основе работы приборов нанoeлектроники: квантовое ограничение и плотность состояний в квантовых ямах, квантовых нитях и квантовых точках; баллистический и квазibalлистический транспорт носителей заряда в объёмных кристаллах и структурах пониженной размерности (параметры, характеризующие транспорт электронов в наиболее распространённых полупроводниковых материалах); туннелирование носителей заряда через потенциальные барьеры; спиновые эффекты (туннельное магнитосопротивление и гигантское магнитосопротивление).

Модуль 3. Элементы низкоразмерных структур.

Основные элементы структур низкой размерности: свободная поверхность (реконструкция поверхности) и интерфейсы; гетероструктуры 1-го и 2-го типов (правило Андерсона); полупроводниковые сверхрешетки, сверхрешётки полупроводник-диэлектрик, напряжённые сверхрешётки. Наноструктуры с квантовым ограничением за счет приложенного внешнего электрического поля: структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структуры); понятие о двумерном электронном газе; структуры с расщепленным затвором.

Наноструктуры с квантовым ограничением за счет внутреннего (встроенного) электрического поля: модуляционно-легированные структуры; дельта-легированные и $p-i-p$ структуры; квантовые ямы, периодические квантовые ямы.

Модуль 4. Элементы нанoeлектроники.

Приборы на одноэлектронном туннелировании: одноэлектронный транзистор, структура и эквивалентная схема одноэлектронного транзистора, характеристики одноэлектронных транзисторов (кулоновские осцилляции и характеристики кулоновской блокады); одноэлектронная ловушка, профили распределения энергии в ней и её зарядовое состояние; одноэлектронный турникет и генератор накачки; генераторы на одноэлектронных транзисторах; стандарты постоянного тока; стандарты температуры; управляемые напряжением логические элементы и управляемые зарядом логические элементы, примеры логических элементов на одноэлектронных транзисторах, одноэлектронный транзисторный параметрон; основные преимущества и недостатки одноэлектронных приборов по сравнению с известными биполярными и полевыми полупроводниковыми транзисторами.

Приборы на основе резонансного туннелирования: резонансно-туннельный диод, его эквивалентная схема, вольт-амперная и вольт-фарадная характеристики; теоретические и экспериментальные данные для наиболее распространённых резонансно-туннельных диодов; резонансно-туннельный биполярный транзистор и резонансно-туннельный транзистор на горячих электронах; транзисторные структуры в виде управляемых затвором резонансно-туннельных диодов; логические элементы на резонансно-туннельных приборах, принцип работы базового резонансно-туннельного элемента, обеспечивающего переход из моностабильного в бистабильное состояние.

Фазовая интерференция электронных волн: магнитный эффект Ааронова – Бома и его экспериментальное наблюдение в кольцевых тонкоплёночных структурах и углеродных нанотрубках; эффект расщепления траектории движения электронов в твердом теле под действием атома примеси; универсальные флуктуации проводимости.

Квантовый эффект Холла (КЭХ): классический эффект Холла, магнитосопротивление, целочисленный квантовый эффект Холла и его сравнение с классическим эффектом, дробный квантовый эффект Холла.

Спин-зависимое туннелирование: эффект туннельного магнитосопротивления; высокотемпературная зависимость магнитосопротивления туннельного перехода между двумя ферромагнитными тонкими пленками от направления и напряженности магнитного поля.

Темы практических и семинарских занятий

N	Тема	Час
1.	Технологические основы создания элементов микроэлектроники.	2

	Процессы литографии, легирования и травления.	
2.	Тенденция создания транзисторов в нанoeлектронике.	2
3.	Квантовые ограничения на движение носителей заряда.	2
4.	Баллистический транспорт носителей заряда.	2
5.	Туннелирование носителей заряда через потенциальные барьеры.	2
6.	Спин и спиновые эффекты в нанoeлектронике.	2
7.	Сверхрешетки.	2
8.	Моделирование атомных конфигураций.	2
9.	Квантовые колодцы.	2
10.	Модуляционно-легированные структуры.	2
11.	Структуры транзисторов МДП и с расщепленным затвором.	2
12.	Транзисторы КНИ. Транзисторы с двойным затвором.	2
13.	Полевые транзисторы. НЕМТ-транзисторы. резонансно - туннельные транзисторы.	2
14.	Основы одноэлектроники.	2
15.	Спинотроника.	2
	ИТОГО	30

Содержание разделов самостоятельной работы

Содержание тем
1. Введение в нанотехнологию и в нанoeлектронику. Основные технологии производства интегральных микросхем. Пути уменьшения размеров элементов. Проблемы скейлинга и пути их решения. 2. Физические основы нанoeлектроники. Туннелирование носителей заряда через потенциальные барьеры; спиновые эффекты (туннельноемагнитосопротивление и гигантскоемагнитосопротивление). 3. Элементы низкоразмерныхструктур. Наноструктуры с квантовым ограничением за счет внутреннего (встроенного) электрического поля: модуляционно-легированные структуры; дельта-легированные и n-i-p-i структуры; квантовые ямы, периодические квантовые ямы. 4. Элементы нанoeлектроники. Фазовая интерференция электронных волн: магнитный эффект Ааронова – Бома и его экспериментальное наблюдение в кольцевых тонкоплёночных структурах и углеродных нанотрубках; эффект расщепления траектории движения электронов в твердом теле под действием атома примеси; универсальные флуктуации проводимости. Квантовый эффект Холла (КЭХ): понятие об уровнях Ландау в идеальной системе, содержащей двухмерный электронный газ; влияние разупоряд-

дочения энергетических зон около уровней Ландау; локализованные и нелокализованные (расширенные) состояния, граница подвижности; фактор заполнения (уровней Ландау).

Спинтронные приборы: магнитная головка воспроизведения на гигантскоммагнитосопротивлении; энергонезависимая память на гигантскоммагнитосопротивлении; энергонезависимая память на спин-зависимом туннелировании; спин-вентильный транзистор и принцип его работы.

5. Образовательные технологии

Основными видами образовательных технологий с применением, как правило, компьютерных и технических средств, учебного и научного оборудования являются:

- Информационные технологии.
- Проблемное обучение.
- Индивидуальное обучение.
- Междисциплинарное обучение.
- Опережающая самостоятельная работа.

Для достижения определенных компетенций используются следующие формы организации учебного процесса: лекция(информационная, проблемная, лекция-визуализация, лекция-консультация и др.), практическое занятие, лабораторные занятия, семинарские занятия, самостоятельная работа, консультация. Допускаются комбинированные формы проведения занятий, такие как лекционно-практические занятия.

Преподаватель самостоятельно выбирают наиболее подходящие методы и формы проведения занятий из числа рекомендованных и согласуют выбор с кафедрой.

Реализация компетентностного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий и организации внеаудиторной работы (компьютерных симуляций, деловых и ролевых игр, разбора конкретных ситуаций, психологических и иных тренингов) с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. Интерактивное обучение – метод, в котором реализуется постоянный мониторинг освоения образовательной программы, целенаправленный текущий контроль и взаимодействие (интерактивность) преподавателя и студента в течение всего процесса обучения.

Самостоятельная работа организована в соответствии с технологией проблемного обучения и предполагает следующие формы активности:

- самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей.

Основные аспекты применяемой технологии проблемного обучения:

- постановка проблемных задач отвечает целям освоения дисциплины «Физика конденсированного состояния» и формирует необходимые компетенции;

- решаемые проблемные задачи стимулируют познавательную деятельность и научно-исследовательскую активность студентов.

По лекционному материалу подготовлено учебное пособие, конспекты лекций в электронной форме и на бумажном носителе, большая часть теоретического материала излагается с применением слайдов (презентаций) в программе **PowerPoint**, а также с использованием интерактивных досок.

Обучающие и контролирующие модули внедрены в учебный процесс и размещены на Образовательном сервере Даггосуниверситета (<http://edu.icc.dgu.ru>), к которым студенты имеют свободный доступ.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Промежуточный контроль.

В течение семестра студенты выполняют:

- домашние задания, выполнение которых контролируется и при необходимости обсуждается на практических занятиях;
- промежуточные контрольные работы во время практических занятий для выявления степени усвоения пройденного материала;
- выполнение итоговой контрольной работы по решению задач, охватывающих базовые вопросы курса: в конце семестра.

Итоговый контроль.

Экзамен в конце 7 семестра, включающий проверку теоретических знаний и умение решения по всему пройденному материалу.

Изучать дисциплину рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе учебной дисциплины. При первом чтении следует стремиться к получению общего представления об изучаемых вопросах, а также отметить трудные и неясные моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретические положения, математические зависимости и выводы. Для более эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее формулировки законов и основных понятий, новые незнакомые термины и названия, формулы, уравнения, математические зависимости и их выводы, так как при записи материал значительно лучше усваивается и запоминается.

Контроль освоения студентом дисциплины осуществляется в рамках модульно-рейтинговой системы в ДМ, включающих текущую, промежуточную и итоговую аттестации.

По результатам текущего и промежуточного контроля составляется академический рейтинг студента по каждому модулю и выводится средний рейтинг по всем модулям.

7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.
7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

Перечень компетенций с указанием этапов их формирования приведен в описании образовательной программы.

Код компетенции из ФГОС ВО	Наименование компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Процедура освоения
ОПК-2	Способность выявлять естественно-научную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат.	Знать: • основные законы естественно-научных дисциплин в профессиональной деятельности; • состояние и перспективы научно-технической проблемы разработки технологических процессов производства материалов и изделий электронной и микросистемной техники. • понимание современных тенденций развития материаловедения, электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий. • методы вычислительной физики и математического моделирования структур, приборов или технологических процессов микро- и наноэлектроники. Уметь: • анализировать, систематизировать и обобщать научно-техническую информацию в области современной наноэлектроники • создавать и анализировать на основе физических законов и их следствий теоретические модели явлений природы, получить навыки использования в практике важнейших физических измерительных приборов и приемов	Устный опрос, письменный опрос, тестирование, выступление на семинарах

		- самостоятельно изучать и понимать специальную научную и методическую литературу, связанную с проблемами нанoeлектроники. Владеть: - методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности	
ПК-1	Способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	Знать: - основные закономерности формирования микроелектронных приборов и структур; методы теоретических подходов в описании и изучении явлений в нанoeлектронике. - основы производства полупроводниковых микросхем; - особенности электронных свойств неупорядоченных и аморфных материалов; Уметь: - описывать и качественно объяснять основные методы получения изделий нанoeлектроники; моделировать физические процессы - использовать специализированные знания в области нанoeлектроники для обеспечения технологической реализации материалов и элементов электронной техники в приборах и устройствах электроники и нанoeлектроники - оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов в элементах нанoeлектроники Владеть: - методами количественного	Письменный опрос, контрольные задания, проверка рефератов, выступление на семинарах

		формулирования и решения задач в области наноэлектроники; • методами самостоятельного изучения и анализа специальной научной и методической литературы, связанной с проблемами наноэлектроники; • методами экспериментальных исследований свойств твердых тел на современном инновационном оборудовании.	
--	--	--	--

7.2. Типовые контрольные задания

Примерные темы рефератов для студентов

1. Тенденции создания нанотранзистора.
2. Основные пути развития кремниевой элементной базы.
3. Туннелирование носителей заряда через потенциальные барьеры
4. Полупроводниковые сверхрешетки
5. Сверхрешетки полупроводник-диэлектрик
6. Упругое и неупругое сотуннелирование.
7. Одноэлектронный турникет и генератор накачки
8. Генераторы на одноэлектронных транзисторах
9. Основные преимущества и недостатки одноэлектронных приборов по сравнению с известными биполярными и полевыми полупроводниковыми транзисторами.
10. Транзисторные структуры в виде управляемых затвором резонансно-туннельных диодов
11. Логические элементы на резонансно-туннельных приборах
12. Принцип работы базового резонансно-туннельного элемента, обеспечивающего переход из моностабильного в бистабильное состояние.
13. Полевой транзистор на отраженных электронах
14. Полевой транзистор на преломлённых электронах
15. Энергонезависимая память на гигантском магнитосопротивлении
16. Энергонезависимая память на спин-зависимом туннелировании

Контрольные вопросы по курсу "Наноэлектроники"

1. Что такое размерные эффекты?
2. Чем отличаются классические и квантовые размерные эффекты?
3. Каковы условия наблюдения квантовых размерных эффектов?
4. Что такое наноструктура?

5. Какие приборы можно отнести к категории наноэлектронных приборов?
6. Как выглядит энергетический спектр электрона в однородном 3D-пространстве?
7. Какие квантовые числа характеризуют стационарные состояния электрона в однородном 3D-пространстве? Укажите вид его волновых функций.
8. Как изменится энергетический спектр электрона в случае ограничения его движения в одном, двух и трех направлениях?
9. Какие квантовые числа характеризуют состояния электрона в 2D-, 1D-, 0D-системах? Укажите примерный вид волновых функций в координатном представлении.
10. Что такое туннельный эффект?
11. Как выглядит энергетический спектр и волновые функции электрона в системе из двух туннельно-связанных квантовых ям?
12. Нарисуйте энергетический спектр системы из периодически чередующихся потенциальных ям.
13. Что такое блоховские волновые функции и как они изменяются при трансляции на произвольный вектор прямой решетки?
14. Что такое зона Бриллюэна и какие квантовые числа характеризуют состояния электрона в 1D-, 2D-, 3D-решетках?
15. Что такое резонансное туннелирование в системах с потенциальными барьерами?
16. Что такое плотность энергетических состояний и какова её размерность?
17. Изобразите плотность состояний как функцию энергии в 3D-, 2D-, 1D-, 0D-системах.
18. Что такое локальная плотность состояний?
19. Каков физический смысл распределения Ферми-Дирака?
20. Что такое одночастичный спектр возбуждений в многочастичной системе в приближении Хартри?
21. Изобразите возможные типы полупроводниковых гетероструктур.
22. Что такое кр-теория возмущений и эффективный кр-гамильтониан для гетероструктуры?
23. Как выглядит уравнение Шредингера для электрона и дырки в наногетероструктуре в приближении эффективной массы в k -представлении?
24. Как выглядит уравнение Шредингера для электрона и дырки в наногетероструктуре в приближении эффективной массы в узельном представлении?
25. Как выглядит уравнение Шредингера для электрона и дырки в наногетероструктуре в приближении эффективной массы в x -представлении?
26. Какие граничные условия накладываются на огибающую волновую функцию в x -представлении на гетерогранице?
27. Запишите выражение для локальной плотности состояний в кристалле.

28. Что такое усредненная по элементарной ячейке плотность состояний в кристалле?
29. Что такое усредненная по элементарной ячейке плотность состояний в наногетероструктуре?
30. Запишите выражение, определяющее пространственное распределение носителей заряда в наногетероструктуре.
31. Для чего необходимо самосогласованное решение уравнений Шредингера и Пуассона?
32. Как рассчитать профиль концентрации носителей заряда и распределение потенциала в наногетероструктуре, легированной донорами?
33. Как рассчитать профиль концентрации носителей заряда и распределение потенциала в наногетероструктуре, легированной акцепторами?
34. Как определяется матричный элемент для оптических переходов в полупроводниковых гетероструктурах?
35. Напишите формулу, связывающую вероятность оптических переходов в единицу времени с матричным элементом.
36. Что такое межзонные оптические переходы?
37. Что такое внутризонные оптические переходы?
38. Что такое 2D-, 1D-, 0D-экситоны?

Экзаменационные вопросы по курсу «Нанoeлектроника»

1. Методы нанесения тонких пленок.
2. Процессы литографии. Маски. Совмещение и самосовмещение.
3. Методы нанесения металлических пленок
4. Процессы легирования. Диффузия и механизмы диффузии в п.п.
5. Процессы травления в нанотехнологии.
6. Ограничение движения электронов при нанoeлектронных размерах.
7. Современные тенденции миниатюризации элементов интегральных схем.
8. Тенденции развития нанoeлектроники.
9. Квантование энергии в потенциальных ямах.
10. Движение электрона над потенциальной ямой.
11. Интерференционные явления в наноструктурах.
12. Возникновение ОПЗ в инверсионных слоях кремния.
13. Влияние магнитного поля на квантование энергии
14. Эффект Аронова-Бома
15. Гигантское магнетосопротивление в наноструктурах.
16. Квантовый эффект Холла
17. Дробный квантовый эффект Холла
18. Кулоновская блокада
19. Спинотроника. Приборные структуры спинтроники
20. Практическая реализация одноэлектронных приборов.
21. Квантование энергии электронов в инверсионном слое кремния.

- 22.Туннелирование через двухбарьерную структуру с квантовой ямой.
- 23.Одноэлектронные приборные структуры.
- 24.Спиновая ячейка памяти.
- 25.Баллистическое движение носителей заряда в наноструктурах.
- 26.Молекулярно-лучевая эпитаксия в нанотехнологии.
- 27.Электронно-лучевая и рентгеновская литографии.
- 28.Квантовые точки и линии. Условие их возникновения.
- 29.Методы исследования структур нанoeлектроники.
- 30.Атомно-силовая микроскопия
- 31.Сканирующая туннельная микроскопия.
- 32.НЕМТ-транзисторы, их назначение и работа.
- 33.Сверхрешетки в нанoeлектронике.
- 34.Структуры МДП.

7.3. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся из текущего контроля – 60 % и промежуточного контроля – 40 %.

Текущий контроль по дисциплине включает:

- посещение занятий - 10 баллов,
- участие на практических занятиях - 25 баллов,
- выполнение лабораторных заданий –,
- выполнение домашних (аудиторных) контрольных работ - 25 баллов.

Промежуточный контроль по дисциплине включает:

- устный опрос - 5 баллов,
- письменная контрольная работа - 15 баллов,
- тестирование - 20 баллов.

Шкала диапазона для перевода рейтингового балла в «5»-бальную систему:

- «0 – 50» баллов – неудовлетворительно
- «51 – 65» баллов – удовлетворительно
- «66 - 85» баллов – хорошо
- «86 - 100» баллов – отлично
- «51 и выше» баллов – зачет

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.

№ п.п.	Библиографическое описание (авторы/составители, заглавие, вид издания, издательство, год издания, кол-во страниц)	Количество экземпляров и наличие в библиотеке/ в каталоге ЭБС

	ниц)	
ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА		
1	Борисенко, В. Е. Нанoeлектроника : учеб. пособие для студентов вузов по специальностям "Микро- и нанoeлектронные технологии и системы" и "Квантовые информ. системы" / Борисенко, Виктор Евгеньевич, А. И. Воробьева. - М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2009. - 223 с. : ил. - (Нанотехнология). - Допущено МО РБ. - ISBN 978-5-94774-914-4 : 202-40	15 (в научной библиотеке ДГУ)
2	Дробот, П.Н. Нанoeлектроника : учебное пособие / П.Н. Дробот ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники (ТУСУР). - Томск : ТУСУР, 2016. - 286 с. : ил.,табл., схем.	http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480771 (08.06.2018).
3	Троян, П.Е. Нанoeлектроника : учебное пособие / П.Е. Троян, Ю.В. Сахаров. - Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2010. - 88 с. ;	http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=208663 (08.06.2018).
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА		
4	Раскин А. А. Технология материалов микро-, опто- и нанoeлектроники : учеб. пособие для студентов вузов, обуч. по направлению подгот. 210100 "Электроника и микроэлектроника". Ч.1 / Раскин, Александр Александрович, В. К. Прокофьева. - М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2010. - 163,[1] с. : ил. - Рекомендовано УМО вузов РФ. - ISBN 978-5-94774-909-0 (Ч.1) : 230-00.	15 (в научной библиотеке ДГУ)
5	Барыбин, А.А. Физико-технологические основы макро-, микро, и нанoeлектроники : учебное пособие /	http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=457643 (08.

	А.А. Барыбин, В.И. Томилин, В.И. Шаповалов ; под общ.ред. А.А. Барыбина. - Москва :Физматлит, 2011. - 783 с. : ил., схем., табл.	06.2018).
--	--	-----------

9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для усвоения дисциплины используются электронные базы учебно-методических ресурсов, электронные библиотеки.

1. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» www.biblioclub.ru
2. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/> (единое окно доступа к образовательным ресурсам).
3. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
4. Российский портал «Открытого образования» <http://www.openet.edu.ru>
5. Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета <http://edu.icc.dgu.ru>
6. Информационные ресурсы научной библиотеки Даггосуниверситета <http://elib.dgu.ru> (доступ через платформу Научной электронной библиотеки elibrary.ru).
7. <http://www.phys.msu.ru/rus/library/resources-online/> - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета МГУ.
8. <http://www.phys.spbu.ru/library/> - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

Студент в процессе обучения должен не только освоить учебную программу, но и приобрести навыки самостоятельной работы. Студент должен уметь планировать и выполнять свою работу. Удельный вес самостоятельной работы составляет по времени 30% от всего времени изучаемого цикла. Это отражено в учебных планах и графиках учебного процесса, с которым каждый студент может ознакомиться у преподавателя дисциплины.

Главное в период обучения своей специальности - это научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на завтра. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло.

Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практических работах.
Практические занятия	Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины. Конспектирование источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы, работа с текстом. Решение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму и др.
Реферат	Поиск литературы и составление библиографии, использование от 3 до 5 научных работ, изложение мнения авторов и своего суждения по выбранному вопросу; изложение основных аспектов проблемы. Кроме того, приветствуется поиск информации по теме реферата в Интернете, но с обязательной ссылкой на источник, и подразумевается не простая компиляция материала, а самостоятельная, творческая, аналитическая работа, с выражением собственного мнения по рассматриваемой теме и грамотно сделанными выводами и заключением. Ознакомиться со структурой и оформлением реферата.
Подготовка к зачету и к экзамену	При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и др.

10.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.

Чтение лекций с использованием мультимедийных презентаций. Использование анимированных интерактивных компьютерных демонстраций и практикумов-тренингов по ряду разделов дисциплины.

11.Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Материально – техническая база кафедры экспериментальной физики, которая осуществляет подготовку по направлению 11.03.04 «**Электроника и наноэлектроника**», позволяет готовить бакалавров, отвечающих требованиям ФГОС. На кафедре имеются 3 учебных и 5 научных лабораторий, оснащенных современной технологической, измерительной и диагностической аппаратурой; в том числе функционирует проблемная НИЛ «Твердотельная электроника». Функционируют специализированные учебные и научные лаборатории: Физика и технология керамических материалов для твердотельной электроники, Физика и технология тонкопленочных структур, Электрически активные диэлектрики в электронике, Физическая химия полупроводников и диэлектриков.

Лекционные занятия проводятся в аудитории, оснащенной мультимедийным проекционным оборудованием и интерактивной доской.