



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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Кафедра инженерной физики

Образовательная программа
11.04.04- Электроника и наноэлектроника

Программа магистратуры
Материалы и технологии электроники и наноэлектроники

Уровень высшего образования
Магистратура

Форма обучения:
Очная

Статус дисциплины:
Вариативная

Махачкала 2019

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОСЗ++ ВО по направлению подготовки 11.04.04- Электроника и наноэлектроника, программа магистратуры: Материалы и технологии электроники и наноэлектроники – Пприказ Минобрнауки России от 05.04.2017 №301.

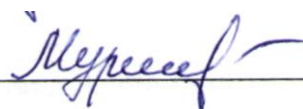
Разработчик (и): кафедра инженерной физики, Садыков С.А., д.ф.-м.н., профессор

Рабочая программа дисциплины одобрена:

на заседании кафедры инженерной физики от «3» _сентября_2019г., протокол № 1

Зав. кафедрой —  Садыков С.А.

на заседании Методической комиссии физического факультета от « 20» сентября 2019г., протокол № 1.

Председатель —  Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением

_____ Нач. УМУ  Гасангаджиева А.Г.

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация рабочей программы

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

Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Физические основы наноэлектроники» входит в вариативную часть образовательной программы магистратуры по направлению (специальности) 11.04.04 – Электроника и наноэлектроника. Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой инженерной физики.

Содержание дисциплины охватывает вопросы физики систем пониженной размерности, такие как особенности энергетического спектра и переноса носителей заряда в квантово-размерных структурах, магнитные квантовые эффекты, основы одноэлектроники и спинтроники, фотоники и др.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника:

профессиональных: ПК-1 (ПК-1.1), ПК- 2 (ПК-2.1), ПК-3(ПК-3.2).

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

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме: индивидуальное собеседование, тестирование, презентации рефератов, промежуточный контроль в форме дифференцированного зачета.

Объем дисциплины 4 зачетных единиц, в том числе в академических часах по видам учебных занятий.

Семестр	Учебные занятия							СРС, в том числе экза- мен	Форма проме- жуточной атте- стации (зачет, дифференциро- ванный зачет, экзамен	
	в том числе:									
	всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем					КСР			консуль- тации
		всего	Лек- ции	Лабора- торные занятия	Практи- ческие занятия					
9	144	80	14	18	16			96	диф. зачет	

1. Цели освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины - изучение физики систем пониженной размерности, лежащих в основе работы современных приборов и устройств нанoeлектроники и перспектив использования этих систем в высоких технологиях.

Задачи дисциплины - дать представления об особенностях физических свойств систем пониженной размерности, ознакомление с современными достижениями и перспективами применения наноструктур в нанoeлектронике.

В результате изучения курса магистры должны:

- владеть базовыми теоретическими знаниями в области физики низкоразмерных систем и связанные с ними эффекты.
- понимать современные тенденции в развитии физики полупроводников наноструктур, приборов и устройств на их основе.
- уметь использовать специализированные знания физики низкоразмерных систем для освоения профильных физических дисциплин и применять их при решении прикладных задач нанoeлектроники.
- быть готовыми к самостоятельному освоению и грамотному использованию результатов новых экспериментальных и теоретических исследований в области физики наноструктур, к самостоятельному выбору методов и объектов исследования.

Основные разделы программы курса: энергетический спектр частиц в системах пониженной размерности, транспортные явления, основы одноэлектроники, спинтроники, нанофотоники, органической нанoeлектроники.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП магистратуры

Дисциплина «Физические основы нанoeлектроники» в структуре ОПОП ВО находится в цикле основных дисциплин (вариативная часть). Для освоения дисциплины требуются знания и умения, приобретенные обучающимися в результате освоения ряда предшествующих дисциплин (разделов дисциплин), таких как:

- Квантовая механика и статфизика
- Физика конденсированного состояния
- Наноструктурные материалы
- Технология наноматериалов и структур
- Новые направления физического материаловедения,

а также знание английского языка для чтения научной литературы, необходимой для подготовки докладов на семинарах и в области математики.

Дисциплина «Физические основы нанoeлектроники» позволяет дать понимание физических принципов работы приборов на основе наноструктур, использующихся (или перспективных для использования) в современной нанoeлектронике. Магистры должны обладать навыками, необходимыми для решения конкретных физических проблем с использованием приёмов и методов математической физики; для описания разнообразных физических процессов и состояний в структурах пониженной размерности.

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)
<i>ПК-1.</i> <i>Способен разра-</i>	<i>ПК-1.1.</i> <i>Способен проводить</i>	Знает: <ul style="list-style-type: none">• средства поиска информации в информацион-

<p><i>ботать и внедрить современные технологические процессы и программы выпуска изделий микро- и наноэлектроники</i></p>	<p><i>анализ и выбор перспективных материалов, технологических процессов и оборудования производства изделий микро- и наноэлектроники</i></p>	<p>ных сетях;</p> <ul style="list-style-type: none"> • мировые достижения в области наноэлектроники; • характеристики продукции лидеров в области производства техники в данной области; • основные подходы к описанию реальных физических процессов и явлений в наноструктурах; • материаловедческие проблемы наноэлектроники; • инновационные материалы, перспективы их применения в связи с развитием многоуровневой многослойных наноструктур; • основные закономерности формирования свойств наноразмерных структур на основе квантовой теории; • квантоворазмерные эффекты и физические свойства систем пониженной размерности; • структура существующих производственных и технологических процессов производства изделий наноэлектроники; <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • искать информацию в различных печатных и электронных источниках; • систематизировать найденную информацию; • выявлять тенденции развития научных исследований и разработок, связанных с перспективными материалами, технологическими процессами и оборудованием; • определять существенные для выпускаемых изделий параметры и характеристики перспективных материалов, технологических процессов и оборудования; • определять критерии сравнения существующих и перспективных материалов, технологических процессов и оборудования; • использовать специализированные знания в области физики систем пониженной размерности для обеспечения технологической реализации материалов и элементов электронной техники в приборах и устройствах наноэлектроники; • оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов в элементах наноэлектроники; <p>Владет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками сбора и систематизации информации о перспективных материалах, технологических процессах и оборудовании, используемых в производстве изделий наноэлектроники; • навыками анализа полученной информации с целью улучшения качественных и количественных показателей выпускаемых изделий наноэлектроники;
---	---	--

		<ul style="list-style-type: none"> • навыками оценки направлений научного развития исследований и разработок, связанных с перспективными наноматериалами, технологическими процессами и оборудованием; • навыками проводить сравнительный анализ характеристик и параметров существующих наноматериалов; • основами теоретических знаний для решения практических задач как в области физики полупроводников и диэлектриков, так и на междисциплинарных границах физики наноэлектроники; • навыками оценки технологической и экономической целесообразности внедрения новых материалов, технологических процессов и оборудования в существующий цикл производства изделий наноэлектроники.
<p>ПК-2. Способен разработать, контролировать и корректировать технологические маршруты и технологические процессы изготовления изделий "система в корпусе"</p>	<p>ПК-2.1. Способен согласовать техническое задание на технологический маршрут изготовления изделий "система в корпусе"</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • технико-экономические и прогнозные исследования в области технологии производства изделий "система в корпусе"; • эксплуатационные и ресурсные характеристики основных материалов, используемых для изготовления изделий "система в корпусе"; • технологии изготовления изделий "система в корпусе"; • технический английский язык в области микро- и наноэлектроники; <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • оставлять техническое задание на разработку технологического маршрута на изготовление изделий "система в корпусе"; • согласовывать техническое задание на разработку технологического маршрута на изготовление изделий "система в корпусе"; • внедрять прикладное программное обеспечение для разработки технической и технологической документации по технологии изготовления изделий "система в корпусе". <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками анализа нормативно-технической и технико-экономической документации по технологии изготовления изделий "система в корпусе"; • навыками определения технического уровня проектируемого технологического маршрута на изготовление изделий "система в корпусе"; • навыками корректировки технического задания на разработку технологического маршрута на изготовление изделий "система в корпусе"; • навыками согласования и утверждение технического задания на разработку технологического маршрута на изготовление изделий "система в корпусе".

<p>ПК-3. Способен руководить подразделениями по измерениям параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур</p>	<p>ПК-3.2. Способен согласовать и утверждать технические задания на модернизацию и внедрение новых методов и оборудования для измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • углубленные знания о структуре, физико-химических свойствах, конструкции и назначении модифицируемых наноматериалов и наноструктур; • основные методы измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; • технический английский язык в области наноматериалов и нанотехнологий; <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • оценивать технические и экономические риски при выборе методов и оборудования для измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; • анализировать и обрабатывать результаты измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур на основе теоретических представлений в области физики систем пониженной размерности; • оценивать временные затраты на стандартные и нестандартные методы измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками анализа планов перспективного развития предприятия в области измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; • навыками оценки рисков внедрения новых методов и оборудования измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; • основными методами измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; • навыками анализа и обработки результатов измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур на основе теоретических представлений в области физики квантоворазмерных систем.
--	---	---

4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часа.

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)
-------	---------------------------	---------	-----------------	--	------------------------	--

				Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Контроль самост. раб.		Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
Модуль 1.									
1	Квантовые поведенные электронов в структурах пониженной размерности.	9		4	8			10	(ДЗ), (С)
2	Транспортные явления.	9		2	6			12	(ДЗ), (С)
3	Области пространственного заряда	9		2	4			10	(ДЗ), (С)
Итого по модулю 1:				8	18			32	
Модуль 2									
4	Магнитные квантовые эффекты.	9		2	6			10	(ДЗ), (С)
5	Основы одноэлектроники и спинтроники.	9		2	6			10	(ДЗ), (С)
6	Нанопотоника.			2	4			12	(ДЗ), (С)
Итого по модулю 2:				6	16			96	
ИТОГО: 144				14	16			96	

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

Модуль 1

1. Квантовое поведение электронов в структурах пониженной размерности.

Введение. Квантовое ограничение. Особенности энергетического спектра частиц в системах пониженной размерности. Размерное квантование электронных состояний в квантовых ямах, проволоках, точках. Изолированные квантовые ямы, нити, точки. Свободный одномерный и двумерный электронный газ. Плотность состояний. Квантовые структуры с одномерным электронным газом. Квантовые структуры с двумерным электронным газом. Квантовые структуры с нульмерным электронным газом.

2. Транспортные явления.

Частица в трехмерной прямоугольной потенциальной яме. Движение электронов над ямами и барьерами. Пролет электрона над потенциальным барьером.

Стационарная дрейфовая скорость. Баллистический транспорт в полупроводниках и субмикронных структурах. Подвижность электронов в системах с селективным легированием. Особенности электрон-фононного взаимодействия в системах пониженной размерности.

Особенности переноса в квантовых проволоках. Осцилляции дрейфовой скорости электронов.

Модуль 2

3. Области пространственного заряда.

Разновидности ОПЗ. Квантование энергии электронов в ОПЗ. Возникновение ОПЗ в инверсионных слоях кремния. Два типа подзон энергетического квантования в кремнии. Экранирование заряда в ОПЗ. Экранирование заряда в квазидвумерных системах. Экранирование заряда в квантовых проволоках.

4. Магнитные квантовые эффекты.

Влияние магнитного поля на плотность состояний. Влияние магнитного поля на квантование энергии. Квантовый эффект Холла в квантовых ямах. Эффект Аронова-Бома. Эффект Шубникова-де Гааза.

Модуль 3

5. Основы одноэлектроники и спинтроники.

Одноэлектронный транспорт. Квантово-размерный туннельный эффект. Кулоновская блокада.

Спин электрона. Приборы спинтроники.

6. Нанопотоника.

Приборы нанопотоники: светодиоды, лазеры с квантовыми ямами и точками, фотоприемники на квантовых ямах Перспективные материалы и устройства.

Фотонные кристаллы.

4.3.1. Содержание лекционных занятий

модуль	Содержание темы
1.	<p><u>Лекция 1. Квантовое поведение электронов в структурах пониженной размерности.</u></p> <p>Пространственные масштабы нанoeлектроники. Квантовое ограничение. Особенности энергетического спектра частиц в системах пониженной размерности. Размерное квантование электронных состояний в квантовых ямах, проволоках, точках. Изолированные квантовые ямы, нити, точки. Свободный одномерный и двумерный электронный газ.</p>
2.	<p><u>Лекция 2. Квантовое поведение электронов в структурах пониженной размерности.</u></p> <p>Плотность состояний. Квантовые структуры с одномерным электронным газом. Квантовые структуры с двумерным электронным газом. Квантовые структуры с нульмерным электронным газом.</p>
3.	<p><u>Лекция 3. Транспортные явления.</u></p> <p>Стационарная дрейфовая скорость. Баллистический транспорт в полупроводниках и субмикронных структурах. Подвижность электронов в системах с селективным легированием. Особенности электрон-фононного взаимодействия в системах пониженной размерности.</p>
4.	<p><u>Лекция 4. Области пространственного заряда.</u></p> <p>Разновидности ОПЗ. Квантование энергии электронов в ОПЗ. Возникновение ОПЗ в инверсионных слоях кремния. Два типа подзон энергетического квантования в кремнии. Экранирование заряда в ОПЗ. Экранирование заряда в квазидвумерных системах. Экранирование заряда в квантовых проволоках.</p>

5.	<u>Лекция 5. Магнитные квантовые эффекты.</u> Влияние магнитного поля на плотность состояний. Влияние магнитного поля на квантование энергии. Квантовый эффект Холла в квантовых ямах. Эффект Аронова-Бома. Эффект Шубникова-де Гааза.
6	<u>Лекция 6. Основы одноэлектроники и спинтроники.</u> Одноэлектронный транспорт. Квантово-размерный туннельный эффект. Кулоновская блокада. Спин электрона. Приборы спинтроники.
7	<u>Лекция 7. Нанофотоника.</u> Приборы нанофотоники: светодиоды, лазеры с квантовыми ямами и точками, фотоприемники на квантовых ямах Перспективные материалы и устройства.

4.3.2. Темы практических занятий

мо- дуль	Содержание темы
1.	Квантовое поведение электронов в структурах пониженной размерности. 1. Пространственные масштабы нанoeлектроники. Квантовое ограничение. Особенности энергетического спектра частиц в системах пониженной размерности. -2 ч. 2. Размерное квантование электронных состояний в квантовых ямах, проволоках, точках. Изолированные квантовые ямы, нити, точки. Свободный одномерный и двумерный электронный газ. – 2 ч. 3. Плотность состояний. Плотность дискретного и непрерывного спектра двумерной системы. Квантовые структуры с двумерным электронным газом. – 2 ч. 4. Квантовые структуры с одномерным электронным газом. Квантовые структуры с нульмерным электронным газом. – 2 ч.
2	Транспортные явления. 1. Частица в трехмерной прямоугольной потенциальной яме. Движение электронов над ямами и барьерами. Пролет электрона над потенциальным барьером. – 2 ч. 2. Стационарная дрейфовая скорость. Баллистический транспорт в полупроводниках и субмикронных структурах. Подвижность электронов в системах с селективным легированием. – 2 ч. 3. Особенности электрон-фононного взаимодействия в системах пониженной размерности. Особенности переноса в квантовых проволоках. Осцилляции дрейфовой скорости электронов. -2 ч.
3.	Области пространственного заряда. 1. Два типа подзон энергетического квантования в кремнии. Экранирование заряда в ОПЗ. Экранирование заряда в квазидвумерных системах. Экранирование заряда в квантовых проволоках. -2 ч. 2. Баллистический транспорт в полупроводниках и субмикронных структурах. Подвижность электронов в системах с селективным легированием. Особенности электрон-фононного взаимодействия в системах пониженной размерности. – 2 ч.

4.	<p>Магнитные квантовые эффекты.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Влияние магнитного поля на плотность состояний. Влияние магнитного поля на квантование энергии. Уровни Ландау. – 2 ч. 2. Квантовый эффект Холла в квантовых ямах. Дробный квантовый эффект Холла. -2 ч. 3. Эффект Аронова-Бома. Эффект Шубникова-де Гааза. – 2 ч.
5.	<p>Основы одноэлектроники и спинтроники.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Одноэлектронный транспорт. Квантово-размерный туннельный эффект. Кулоновская блокада. – 2 ч. 2. Спин электрона. Спиновые эффекты. Спиновая инжекция. Эффект гигантского маенитосопротивления. Эффект колоссального магнетосопротивления. – 2 ч. 3. Приборы спинтроники – 2 ч.
6	<p>Нанопотоника.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Приборы нанопотоники: светодиоды, лазеры с квантовыми ямами и точками, фотоприемники на квантовых ямах Перспективные материалы и устройства. – 2ч. 2. Фотонные кристаллы. – 2 ч.

4.3.3. Темы самостоятельной работы

Тема 1. Квантовое поведение электронов в структурах пониженной размерности. Введение. Основные понятия наномира. Базовые термины и понятия. Основные классы наноразмерных систем. Место наноразмерных объектов в окружающем нас мире. Определение понятий: нанотехнология, наноматериалы, наносистемные устройства, наноструктура. Нанообъекты. Критерии определения наноматериалов: критический размер и функциональные свойства. Квантовые наноструктуры различной размерности: 0D-, 1D-, 2D-структуры. Квантовые точки. Основные типы наноразмерных систем. Углеродные наноструктуры (фуллерены и нанотрубки). Неуглеродные наноструктуры. Нанокompозиты и наножидкости. Степень интеграции и перспективы нанотехнологий.

Тема 2. Транспортные явления.

Частица в трехмерной прямоугольной потенциальной яме. Движение электронов над ямами и барьерами. Пролет электрона над потенциальным барьером. Стационарная дрейфовая скорость. Баллистический транспорт в полупроводниках и субмикронных структурах. Подвижность электронов в системах с селективным легированием. Особенности электрон-фононного взаимодействия в системах пониженной размерности. Особенности переноса в квантовых проволоках. Осцилляции дрейфовой скорости электронов.

Тема 3. Области пространственного заряда.

Два типа подзон энергетического квантования в кремнии. Экранирование заряда в ОПЗ. Экранирование заряда в квазидвумерных системах. Экранирование заряда в квантовых проволоках. Баллистический транспорт в полупроводниках и субмикронных структурах. Подвижность электронов в системах с селективным легированием. Особенности электрон-фононного взаимодействия в системах пониженной размерности.

Тема 4. Магнитные квантовые эффекты. Влияние магнитного поля на плотность состояний. Влияние магнитного поля на квантование энергии. Квантовый эффект Холла в квантовых ямах. Эффект Аронова-Бома. Эффект Шубникова-де Гааза.

Тема 5. Основы одноэлектроники и спинтроники. Одноэлектронный транспорт. Одноэлектронные устройства. Квантово-размерный туннельный эффект. Кулоновская блокада. . Реализация одноэлектронного транзистора в полупроводниковой, углеродной, молекулярной электронике. Спин электрона. Приборы спинтроники.

Тема 6. Нанопотоника. Приборы нанопотоники: светодиоды, лазеры с квантовыми ямами и точками, фотоприемники на квантовых ямах Перспективные материалы и устройства. Фотонные кристаллы.

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 **Power Point**, а также с использованием интерактивных досок.

Обучающие и контролируемые 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.

Самостоятельная работа магистров имеет целью подготовку к семинарским и практическим занятиям по отдельным разделам дисциплины, а также к выполнению лабораторных работ по предмету. Разделы дисциплины для самостоятельной работы приведены в п.п. 4.3.3. и 4.3.4.

В течение семестра магистры самостоятельно готовятся по отдельным разделам дисциплины, представляют рефераты и презентации, обсуждают выбранные темы на практических занятиях.

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.

Код компетенции из ФГОС ВО	Наименование компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
<p>ПК-1. Способен разработать и внедрить современные технологические процессы и программы выпуска изделий микро- и нанoeлектроники</p>	<p>ПК-1.1. Способен проводить анализ и выбор перспективных материалов, технологических процессов и оборудования производства изделий микро- и нанoeлектроники</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • средства поиска информации в информационных сетях; • мировые достижения в области нанoeлектроники; • характеристики продукции лидеров в области производства техники в данной области; • основные подходы к описанию реальных физических процессов и явлений в наноструктурах; • материаловедческие проблемы нанoeлектроники; • инновационные материалы, перспективы их применения в связи с развитием многоуровневой многослойных наноструктур; • основные закономерности формирования свойств наноразмерных структур на основе квантовой теории; • квантоворазмерные эффекты и физические свойства систем пониженной размерности; • структура существующих производственного и технологического процессов производства изделий нанoeлектроники; <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • искать информацию в различных печатных и электронных источниках; • систематизировать найденную информацию; • выявлять тенденции развития научных исследований и разработок, связанных с перспективными материалами, технологическими процессами и оборудованием; • определять существенные для выпускаемых изделий параметры и характеристики перспективных материалов, технологических процессов и оборудования; • определять критерии сравнения суще- 	<p>Устный опрос Презентация докладов</p>

		<p>ствующих и перспективных материалов, технологических процессов и оборудования;</p> <ul style="list-style-type: none"> • использовать специализированные знания в области физики систем пониженной размерности для обеспечения технологической реализации материалов и элементов электронной техники в приборах и устройствах нанoeлектроники; • оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов в элементах нанoeлектроники; <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками сбора и систематизации информации о перспективных материалах, технологических процессах и оборудовании, используемых в производстве изделий нанoeлектроники; • навыками анализа полученной информации с целью улучшения качественных и количественных показателей выпускаемых изделий нанoeлектроники; • навыками оценки направлений научного развития исследований и разработок, связанных с перспективными наноматериалами, технологическими процессами и оборудованием; • навыками проводить сравнительный анализ характеристик и параметров существующих наноматериалов; • основами теоретических знаний для решения практических задач как в области физики полупроводников и диэлектриков, так и на междисциплинарных границах физики нанoeлектроники; • навыками оценки технологической и экономической целесообразности внедрения новых материалов, технологических процессов и оборудования в существующий цикл производства изделий нанoeлектроники. 	
<p>ПК-2. Способен разработать, контролировать и корректировать технологические маршруты и технологические процессы изго-</p>	<p>ПК-2.1. Способен согласовать техническое задание на технологический маршрут изготовления изделий "система в корпусе"</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • технико-экономические и прогнозные исследования в области технологии производства изделий "система в корпусе"; • эксплуатационные и ресурсные характеристики основных материалов, используемых для изготовления изделий "система в корпусе"; 	<p>Устный опрос, письменный опрос. Презентация докладов</p>

<p>товления изделий "система в корпусе"</p>		<ul style="list-style-type: none"> • технологии изготовления изделий "система в корпусе"; • технический английский язык в области микро- и наноэлектроники; <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • оставлять техническое задание на разработку технологического маршрута на изготовление изделий "система в корпусе"; • согласовывать техническое задание на разработку технологического маршрута на изготовление изделий "система в корпусе"; • внедрять прикладное программное обеспечение для разработки технической и технологической документации по технологии изготовления изделий "система в корпусе". <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками анализа нормативно-технической и технико-экономической документации по технологии изготовления изделий "система в корпусе"; • навыками определения технического уровня проектируемого технологического маршрута на изготовление изделий "система в корпусе"; • навыками корректировки технического задания на разработку технологического маршрута на изготовление изделий "система в корпусе"; • навыками согласования и утверждение технического задания на разработку технологического маршрута на изготовление изделий "система в корпусе". 	
<p>ПК-3. Способен руководить подразделениями по измерениям параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур</p>	<p>ПК-3.2. Способен согласовать и утверждать технические задания на модернизацию и внедрение новых методов и оборудования для измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • углубленные знания о структуре, физико-химических свойствах, конструкции и назначении модифицируемых наноматериалов и наноструктур; • основные методы измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; • технический английский язык в области наноматериалов и нанотехнологий; <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • оценивать технические и экономические риски при выборе методов и оборудования для измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; • анализировать и обрабатывать ре- 	<p>Круглый стол Устный опрос, письменный опрос, Презентации</p>

		<p>зультаты измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур на основе теоретических представлений в области физики систем пониженной размерности;</p> <ul style="list-style-type: none"> оценивать временные затраты на стандартные и нестандартные методы измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> навыками анализа планов перспективного развития предприятия в области измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; навыками оценки рисков внедрения новых методов и оборудования измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; основными методами измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; навыками анализа и обработки результатов измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур на основе теоретических представлений в области физики квантоворазмерных систем. 	
--	--	--	--

7.2. Типовые контрольные задания

7.2.1. Вопросы на экзамен

1. Пространственное квантование
2. Примеры наноструктур различной мерности.
3. Типы структур с низкоразмерным электронным газом.
4. Применение низкоразмерных структур в электронике.
5. Свободный одномерный электронный газ. Плотность состояний. Связь энергии Ферми с концентрацией электронов. Полная энергия при $T=0$.
6. Свободный двумерный электронный газ. Зависимость химического потенциала от температуры. Полная энергия при конечной температуре.
7. Плотность состояний систем различной размерности.
8. Размерное квантование электронных состояний в квантовых ямах, проволоках, точках.
9. Полупроводниковые квантовые ямы. Энергетическая диаграмма.
10. Энергетический спектр электронов и дырок в полупроводниковых квантовых ямах. Плотность состояний.
11. Статистика носителей заряда.
12. Энергетический спектр электронов в низкоразмерных структурах в присутствии постоянного магнитного поля.
13. Переход от дискретного к непрерывному спектру в направлении квантования для систем различной размерности. Квази- низкоразмерные системы.

14. Размерное квантование во внешних полях.
15. Квантовые ямы и сверхрешетки в электрическом поле.
16. Двумерный электронный газ. Потенциальная энергия электрона в двумерном электронном газе.
17. Полупроводниковые квантовые нити. Энергетический спектр и плотность состояний.
18. Энергетический спектр электронов в квантовых нитях, полученных методом наращивания поверхности скола.
19. Полупроводниковые квантовые точки. Энергетический спектр кубических квантовых точек.
20. Квантовый эффект Холла.
21. Влияние магнитного поля на плотность состояний. Влияние магнитного поля на квантование энергии. Уровни Ландау.
22. Квантовый эффект Холла в квантовых ямах.
23. Дробный квантовый эффект Холла.
24. Эффект Аронова-Бома.
25. Эффект Шубникова-де Гааза.
26. Баллистический транспорт.
27. Баллистическая проводимость квантовых нитей.
28. Кулоновская блокада.
29. Туннельные эффекты.
30. Прохождение электронов в структурах с одиночными квантовыми ямами и потенциальными барьерами.
31. Туннелирование электронов через двухбарьерную квантовую структуру.
32. Лазеры на основе квантовых ям.
33. Фотоприемники на квантовых ямах.
34. Резонансный туннельный диод.
35. Подвижность электронов в системах с селективным легированием.
36. Особенности электрон-фононного взаимодействия в системах пониженной размерности.
37. Основы спинтроники.
38. Теоретические основы одноэлектроники.
39. Фотонные кристаллы.
40. Приборы нанофотоники.

3.7.. 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 – 50 % и промежуточного контроля – 50 %.

Текущий контроль по дисциплине включает:

- посещение занятий - 10 баллов,
- участие на практических занятиях - 15 баллов,
- выполнение лабораторных заданий – 25 баллов,
- выполнение домашних (аудиторных) контрольных работ - 10 баллов.

Промежуточный контроль по дисциплине включает:

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

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

1. Борисенко В.Е, Воробьева., А. И. Нанoeлектроника : учеб. пособие. – М.: БИНОМ. Лаб. знаний, 2009. - 223 с. - (15 экз.).
2. Шишкин Г. Г., Агеев И. М. Нанoeлектроника: Элементы, приборы, устройства : учеб. пособие. - М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2011. - 408 с. – (15 экз.).
3. Троян, П.Е. Нанoeлектроника : учебное пособие / П.Е. Троян, Ю.В. Сахаров. - Томск : Томский государственный университет систем управления и радиoeлектроники, 2010. - 88 с. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=208663> (08.06.2018).
4. Дробот, П.Н. Нанoeлектроника : учебное пособие / П.Н. Дробот ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиoeлектроники (ТУСУР). - Томск : ТУСУР, 2016. - 286 с. : ил.,табл., схем. - Библиогр.: с.261-275. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480771> (11.06.2018).

Дополнительная

1. Лозовский В.Н. , Константинова Г. С. Нанотехнология в электронике: Введение в специальность :. - [2-е изд., испр.]. - СПб. : Лань, 2008. – 327 с. – (40 экз).
2. Рыжонков Д. И., Лёвина В. В. Наноматериалы : учеб. пособие. - 2-е изд. - М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2010. - 365 с. – (10 экз.).
3. Корабельников, Д.В. Физика наноструктур: учебное пособие / Д.В. Корабельников, Н.Г. Кравченко, А.С. Поплавной ; Министерство образования и науки РФ, Кемеровский государственный университет. - Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2016. - 161 с. : схем., ил. - ISBN 978-5-8353-2048-6 ; То же [Электронный ресурс]. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=481557> (18.06.2018).
4. Неволин, В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике : монография / В.К. Неволин. - Изд. 2-е, испр. - Москва : Техносфера, 2014. - 174 с. : ил., схем., табл. - (Мир электроники). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-94836-382-0 ; То же [Электронный ресурс]. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=260697>(08.06.2018).

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

1. ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/>
2. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» www.biblioclub.ru.
3. Электронной библиотека на <http://elibrary.ru>.
4. Электронный каталог НБ ДГУ [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о всех видах лит, поступающих в фонд НБ ДГУ/Дагестанский гос. ун-т. – Махачкала, 2010 – Режим доступа: <http://elib.dgu.ru>.
5. Moodle [Электронный ресурс]: система виртуального обучением: [база данных] / Даг. гос. ун-т. – Махачкала, г. – Доступ из сети ДГУ или, после регистрации из сети ун-та, из любой точки, имеющей доступ в интернет. – URL: <http://moodle.dgu.ru/>
6. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru>.
7. Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета <http://edu.icc.dgu.ru>
8. <http://www.phys.msu.ru/rus/library/resources-online/> - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета МГУ.
9. <http://www.phys.spbu.ru/library/> - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета.

10. **Springer.** <http://link.springer.com>, <http://materials.springer.com/>
 11. **Scopus:** <https://www.scopus.com>
 12. **Web of Science:** [webofknowledge.com](http://www.webofknowledge.com)
 13. www.nanotech.ru

10. 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	При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и др.

11. 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.

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

Материально – техническая база кафедры экспериментальной физики, которая осуществляет подготовку по направлению 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника», позволяет готовить магистров, 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.