



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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
НАНОСТРУКТУР

Кафедра инженерной физики

Образовательная программа
11.04.04- Электроника и нанoeлектроника

Профиль подготовки:
Физика полупроводников и диэлектриков

Уровень высшего образования
Магистратура

Форма обучения:
Очная

Статус дисциплины:
Вариативная

Махачкала 2018

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.04.04- Электроника и наноэлектроника, профиль подготовки: физика полупроводников и диэлектриков (уровень: магистратуры) – Приказ Минобрнауки России от 30.10.2014 № 1407.

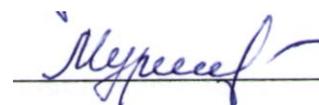
Разработчик (и): кафедра инженерной физики, Садыков С.А., д.ф.-м.н., профессор

Рабочая программа дисциплины одобрена:

на заседании кафедры инженерной физики от «25» июня 2018г., протокол №1а

И.о.зав. кафедрой  Садыков С.А.

на заседании Методической комиссии физического факультета от « 29 » сентября 2018г., 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 полупроводниковых наноструктур» входит в вариативную часть образовательной программы магистратуры по направлению (специальности) 11.04.04 – Электроника и нанoeлектроника. Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой инженерной физики.

Содержание дисциплины охватывает вопросы физики систем пониженной размерности, особенности энергетического спектра и переноса частиц в полупроводниковых наноструктурах.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника:

общекультурные: ОК-2;

общепрофессиональных: ОПК-1; ОПК-4;

профессиональных: ПК-1; ПК-5.

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, письменные контрольные задания и промежуточный контроль в форме экзамена.

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							
		всего	из них						
	Лек- ции	Лабора- торные занятия	Практи- ческие занятия	КСР	консультации				
9	144	80	14		30	36		64	экзамен

1. Цели освоения дисциплины

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

Задачи дисциплины - дать представления об особенностях физических свойств полупроводниковых наноструктур и их основных характеристиках, ознакомление с современными достижениями и перспективами применения полупроводниковых наноструктур в наноэлектронике, твердотельной электронике и в технологии микро- и наноэлектроники.

В результате изучения курса магистры должны:

- владеть базовыми теоретическими знаниями в области физики низкоразмерных систем и полупроводниковых наноструктур 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 наноэлектроники.
- быть готовыми к самостоятельному освоению и грамотному использованию результатов новых экспериментальных и теоретических исследований в области физики полупроводников наноструктур, к самостоятельному выбору методов и объектов исследования.

Основные разделы программы курса: энергетический спектр частиц в системах пониженной размерности, транспортные явления, полупроводниковые наноструктуры, технологии формирования полупроводниковых наноструктур, применение полупроводниковых наноструктур в оптоэлектронике.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП магистратуры

Дисциплина «Физические основы полупроводниковых наноструктур» 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:

- Физика полупроводников и диэлектриков
- Технология наноматериалов и структур
- Новые направления физического материаловедения
- Полупроводниковая оптоэлектроника

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

Дисциплина «Физические основы полупроводниковых наноструктур» позволяет дать понимание на атомном уровне процессов формирования полупроводниковых наноструктур, использующихся (или перспективных для использования) в современной полупроводниковой электронике. 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 полупроводниках наноструктурах.

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)
ОК-2	способностью использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • базовые понятия, используемые в экспериментальных исследованиях применительно к физике систем пониженной размерности; • современные методы научно-исследовательской работы; <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • организовать научно-исследовательские и научно-производственные работы, проявлять навыки в управлении исследовательским коллективом; • использовать в научных исследованиях информационные справочники и поисковые системы; • формулировать и решать задачи, возникающие в ходе научно-исследовательской деятельности; • выбирать необходимые методы исследования, модифицировать существующие и разрабатывать новые методы исходя из задач конкретного исследования <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • основами научно-исследовательской работы, методами (инструментарием) научного анализа и научного проектирования в научных исследованиях; • компьютерной техникой и информационными технологиями в учебном процессе и научных исследованиях;
ОПК-1	способность понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • основы зонной теории полупроводников, зонную структуру основных полупроводников; • основные подходы к описанию реальных физических процессов и явлений в полупроводниковых наноструктурах; • современные тенденции развития материаловедения, твердотельной электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий; • методы вычислительной физики и математического моделирования для описания физических процессов и явлений в системах пониженной размерности. <p><i>Умеет:</i></p>

		<ul style="list-style-type: none"> • создавать и анализировать теоретические модели физических процессов и явлений в в системах пониженной размерности; • выбирать методы и средства решения конкретных задач, использовать для их решения физических измерительных приборов и приемов. • анализировать, систематизировать и обобщать научно-техническую информацию в области современного материаловедения; <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • основами теоретических знаний для решения практических задач как в области физики полупроводников и диэлектриков, так и на междисциплинарных границах физики микро- и нанoeлектроники; • методологией теоретических и экспериментальных исследований в области физики полупроводников; • методами количественного формулирования и решения практических задач по физике полупроводниковых наноструктур.
ОПК-4	способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения в своей предметной области	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • новую информацию о перспективных материалах, технологических процессах и оборудовании, используемых в производстве изделий нанoeлектроники; • новую информацию в области систем пониженной размерности, физики полупроводниковых наноструктур, приборов и устройств нанoeлектроники; <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • самостоятельно изучать и понимать специальную научную и методическую литературу, связанную с проблемами физики полупроводников и диэлектриков, физики систем пониженной размерности; • 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 <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками систематизировать информацию о перспективных материалах, технологи-

		<p>ческих процессах и оборудовании, используемых в производстве изделий наноэлектроники;</p> <ul style="list-style-type: none"> • опытом анализировать полученную информацию с целью улучшения качественных и количественных показателей материалов, приборов и устройств наноэлектроники; • навыками оценивать направления научно-го развития исследований и разработок, связанных с перспективными материалами, технологическими процессами и оборудованием наноэлектроники; • методами проводить сравнительный анализ характеристик и параметров существующих материалов, технологических процессов и оборудования с характеристиками и параметрами перспективных материалов, технологических процессов и оборудования.
ПК-1	<p>готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач</p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • основные направления и тенденции развития современной наноэлектроники, мировой опыт развития технологических процессов изготовления наноэлектронного изделия; • материаловедческие проблемы наноэлектроники; • инновационные материалы, перспективы их применения в связи с развитием многоуровневой многослойных наноструктур; • технологические возможности перспективных методов получения наноструктур на основе полупроводников . <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития наноэлектроники; • выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач; • формировать план исследования, модифицировать существующие и разрабатывать новые методы, исходя из задач конкретных исследований. <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • опытом выявления сути материаловедческих проблем наноэлектроники, конкретизации целей и задач исследований объектов;

		<ul style="list-style-type: none"> • методами экспериментальных исследований свойств материалов и структур нанoeлектроники; • навыками анализа и обработки результатов исследований на основе теоретических представлений в области физики квантоворазмерных систем;
ПК-5	<p>способность делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения</p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • основные закономерности формирования свойств наноразмерных структур на основе квантовой теории; • методы теоретических подходов в описании и изучении явлений в физике полупроводниковых наноструктур; • квантоворазмерные эффекты и физические свойства систем пониженной размерности; • особенности транспорта носителей заряда в наноструктурах, в том числе гетероструктурах; <p><i>Умеет:</i></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; • применять модели и приближения физики конденсированного состояния вещества для описания основных физических свойств фононных и электронных состояний в полупроводниковых наноструктурах; • оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов в элементах нанoeлектроники; • по результатам теоретических и экспериментальных исследований материалов формулировать рекомендации по совершенствованию устройств и систем электроники и нанoeлектроник <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками представления итогов работы в виде научных публикаций, тезисов докладов, оформления заявок на изобретения и др.; • опытом использования результатов исследований для оформления научных проектов, грантов, участия в различных молодежных конкурсах; • опытом внедрения результатов исследований на практике.

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) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Контроль самост. раб.		
Модуль 1.									
1	Квантовые поведение электронов в структурах пониженной размерности.	11		4	4		6	10	(ДЗ), (С), (КСР)
2	Полупроводниковые наноструктуры.	11		2	6		6	12	(ДЗ), (С), (КСР)
3	Технология формирования полупроводниковых наноструктур.	11		2	4		6	10	(ДЗ), (С), (КСР)
Итого по модулю 1:				8	14		18	32	
Модуль 2									
4	Квантовые эффекты.	11		2	4		6	10	(ДЗ), (С), (КСР)
5	Оптические явления в полупроводниковых наноструктурах	11		2	4		6	10	(ДЗ), (С), (КСР)
6	Применение квантово-размерных структур в приборах нанoeлектроники			2	8		6	12	(ДЗ), (С), (КСР)
Итого по модулю 2:				6	16		18	32	
ИТОГО: 144		11		14	30	-	36	64	

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

Модуль 1

1. Квантовое поведение электронов в структурах пониженной размерности.

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.

Баллистический транспорт. Туннелирование.

2. Полупроводниковые наноструктуры.

Гетеропереходы и гетероструктуры. Сверхрешетки. Квантовые проволоки. Квантовые точки.

3. Технология формирования полупроводниковых наноструктур.

Формирование квантовых ям. Формирование квантовых нитей. Формирование квантовых точек.

Модуль 2

4. Квантовые эффекты.

Квантовый эффект Холла в квантовых ямах. Квантово-размерный туннельный эффект. Эффект Штарка. Кулоновская блокада.

5. Оптические явления в полупроводниковых наноструктурах

Межзонное поглощение в квантовых ямах и сверхрешетках. Межзонное поглощение в квантовых нитях.

6. Применение квантово-размерных структур в приборах наноэлектроники

Лазеры с квантовыми ямами и точками. Фотоприемники на квантовых ямах. Лавинные фотодиоды. Резонансно-туннельный диод. Приборы на основе сверхрешеток. Перспективные материалы и устройства.

4.3.1. Содержание лекционных занятий

модуль	Содержание темы
1.	<u>Лекция 1.</u> Квантовое поведение электронов в структурах пониженной размерности. 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	<u>Лекция 2.</u> Квантовое поведение электронов в структурах пониженной размерности. Баллистический транспорт в полупроводниках. Подвижность электронов в системах с селективным легированием. Туннелирование через двухбарьерную структуру с квантовой ямой. Вольт-амперная характеристика многослойных структур.

3.	<u>Лекция 3. Полупроводниковые наноструктуры.</u> Гетеропереходы и гетероструктуры. Сверхрешетки. Квантовые проволоки. Квантовые точки.
4.	<u>Лекция 4. Технология формирования полупроводниковых наноструктур.</u> Формирование квантовых ям. Формирование квантовых нитей. Формирование квантовых точек.
5.	<u>Лекция 5. Квантовые эффекты.</u> Квантовый эффект Холла в квантовых ямах. Квантово-размерный туннельный эффект. Эффект Штарка. Кулоновская блокада.
6	<u>Лекция 6. Оптические явления в полупроводниковых наноструктурах</u> Межзонное поглощение в квантовых ямах и сверхрешетках. Межзонное поглощение в квантовых нитях.
7	<u>Лекция 7. Применение квантово-размерных структур в приборах наноэлектроники</u> Лазеры с квантовыми ямами и точками. Фотоприемники на квантовых ямах. Лавинные фотодиоды. Резонансно-туннельный диод. Приборы на основе сверхрешеток. Перспективные материалы и устройства.

4.3.2. Темы семинарских и практических занятий

Основные полупроводниковые квантово-размерные структуры

Основные элементы полупроводниковых гетероструктур (квантовые ямы, проволоки и точки) и методы их получения. Напряженные гетероструктуры на соединениях А3В5. Гетероструктуры на основе кремния и германия.

Фундаментальные явления в низкоразмерных структурах.

Потенциальный барьер конечной ширины. Квантование энергетических уровней электронов и дырок. Квантование электронов и дырок в квантовых ямах. Электроны и дырки в сверхрешетках. Энергетический спектр сверхрешеток. Особенности распределения плотности состояний в 2D системах. Распределение плотности состояний в квантовых проволоках и квантовых точках.

Плотность состояний и концентрация носителей заряда

Особенности распределения плотности состояний в 2D системах. Распределение плотности состояний в квантовых проволоках и квантовых точках.

Кинетические явления

Проводимость двумерного электронного газа. Квантовый целочисленный и дробный эффекты Холла (дробные заряды и промежуточная статистика) в двумерном электронном газе. Баллистический транспорт в полупроводниках. Эффект Аарона-Бома.

Резонансное туннелирование

Туннелирование через квантово-размерные структуры. Туннелирование через двухбарьерную структуру с квантовой ямой.

Вольт-амперные характеристики приборов с резонансным туннелированием.

Оптические явления

Межзонное поглощение. Межуровневые переходы. Оптическая ионизация квантовых ям. Эффекты деполяризации.

Применение квантово-размерных структур в приборах наноэлектроники

Лазеры с квантовыми ямами и точками. Оптические модуляторы. Фотоприемники на квантовых ямах. Транзисторы с высокой подвижностью носителей. Приборы на основе

баллистического транспорта. Устройства на основе одноэлектронного транзистора. Туннельно-резонансные диоды.

4.3.3. Темы самостоятельной работы

Тема 1. 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. Основы физической химии наноструктурированных материалов. Физическая химия наносистем – основные понятия и представления. Параметры для описания физико-химии наносистем. Базовые модели нанообъектов. Энергетическое состояние поверхности. Термодинамика поверхности. Термодинамические функции поверхности. Поверхностная энергия и поверхностное натяжение. Процессы на поверхности и в приповерхностных слоях; адсорбция и десорбция; реконструкция и релаксация поверхностей. Основы физической химии наносистем; уравнения и характеристики условий термодинамической стабильности межфазных границ в наносистемах; особенности поверхностных процессов в наноструктурах: размерные эффекты и фазовые переходы. Устойчивость нанообъектов.

Тема 3. Формирование наноструктур. История развития методов синтеза наноматериалов; два основных технологических подхода: диспергационный («сверху–вниз»), конденсационный («снизу–вверх»). Методы синтеза нано- порошков: физические методы, химические методы. Методы получения наноструктурированных материалов. Понятие об образовании зародышей. Механизмы гомогенного и гетерогенного зародышеобразования. Формирование кластеров и наночастиц. Формирование сложных наноструктур. Понятие о самоорганизации. Самоорганизация наноразмерных упорядоченных структур. Роль температурного фактора. Типы упорядоченных структур и их параметры. Физико-математические модели нанообъектов.

Тема 4. Эволюция полупроводниковой электроники. Одноэлектронные устройства. Эволюция полупроводниковой электроники. Планарная технология и групповой метод. Приближения размеров твердотельных структур к нанометровой области и проявления квантовых свойства электрона. Одноэлектронное туннелирование в условиях кулоновской блокады. Реализация одноэлектронного транзистора в полупроводниковой, углеродной, молекулярной электронике

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 компетентного 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
ОК-2	способностью использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • базовые понятия, используемые в экспериментальных исследованиях применительно к физике систем пони- 	Устный опрос

	работ, в управлении коллективом	<p>женной размерности;</p> <ul style="list-style-type: none"> • современные методы научно-исследовательской работы; <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • организовать научно-исследовательские и научно-производственные работы, проявлять навыки в управлении исследовательским коллективом; • использовать в научных исследованиях информационные справочники и поисковые системы; • формулировать и решать задачи, возникающие в ходе научно-исследовательской деятельности; • выбирать необходимые методы исследования, модифицировать существующие и разрабатывать новые методы исходя из задач конкретного исследования <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • основами научно-исследовательской работы, методами (инструментарием) научного анализа и научного проектирования в научных исследованиях; • компьютерной техникой и информационными технологиями в учебном процессе и научных исследованиях; 	
ОПК-1	способность понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • основы зонной теории полупроводников, зонную структуру основных полупроводников; • основные подходы к описанию реальных физических процессов и явлений в полупровод- 	Устный опрос, письменный опрос

		<p>никовых наноструктурах;</p> <ul style="list-style-type: none"> • современные тенденции развития материаловедения, твердотельной электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий; • методы вычислительной физики и математического моделирования для описания физических процессов и явлений в системах пониженной размерности. <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • создавать и анализировать теоретические модели физических процессов и явлений в системах пониженной размерности; • выбирать методы и средства решения конкретных задач, использовать для их решения физических измерительных приборов и приемов. • анализировать, систематизировать и обобщать научно-техническую информацию в области современного материаловедения; <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • основами теоретических знаний для решения практических задач как в области физики полупроводников и диэлектриков, так и на междисциплинарных границах физики микро- и нанoeлектроники; • методологией теоретических и экспериментальных исследований в области физики полупроводников; • методами количествен- 	
--	--	---	--

		ного формулирования и решения практических задач по физике полупроводниковых наноструктур.	
ОПК-4	способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения в своей предметной области	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • новую информацию о перспективных материалах, технологических процессах и оборудовании, используемых в производстве изделий наноэлектроники; • новую информацию в области систем пониженной размерности, физики полупроводниковых наноструктур, приборов и устройств наноэлектроники; <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • самостоятельно изучать и понимать специальную научную и методическую литературу, связанную с проблемами физики полупроводников и диэлектриков, физики систем пониженной размерности; • 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 оборудова- 	Устный опрос, письменный опрос

		<p>ния</p> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками систематизировать информацию о перспективных материалах, технологических процессах и оборудовании, используемых в производстве изделий наноэлектроники; • опытом анализировать полученную информацию с целью улучшения качественных и количественных показателей материалов, приборов и устройств наноэлектроники; • навыками оценивать направления научного развития исследований и разработок, связанных с перспективными материалами, технологическими процессами и оборудованием наноэлектроники; • методами проводить сравнительный анализ характеристик и параметров существующих материалов, технологических процессов и оборудования с характеристиками и параметрами перспективных материалов, технологических процессов и оборудования. 	
ПК-1	готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • основные направления и тенденции развития современной наноэлектроники, мировой опыт развития технологических процессов изготовления наноэлектронного изделия; • материаловедческие проблемы наноэлектроники; 	Устный опрос, письменный опрос, презентации

	<p>обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач</p>	<ul style="list-style-type: none"> • инновационные материалы, перспективы их применения в связи с развитием многоуровневой многослойных наноструктур; • технологические возможности перспективных методов получения наноструктур на основе полупроводников . <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития наноэлектроники; • выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач; • формировать план исследования, модифицировать существующие и разрабатывать новые методы, исходя из задач конкретных исследований. <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • опытом выявления сути материаловедческих проблем наноэлектроники, конкретизации целей и задач исследований объектов; • методами экспериментальных исследований свойств материалов и структур наноэлектроники; • навыками анализа и обработки результатов исследований на основе теоретических представлений в области физики квантоворазмерных систем; 	
ПК-5	<p>способность делать научно-обоснованные вы-</p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • основные закономерности формирования 	<p>Круглый стол Устный опрос, письменный опрос,</p>

	<p>воды по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения</p>	<p>свойств наноразмерных структур на основе квантовой теории;</p> <ul style="list-style-type: none"> • методы теоретических подходов в описании и изучении явлений в физике полупроводниковых наноструктур; • квантоворазмерные эффекты и физические свойства систем пониженной размерности; • особенности транспорта носителей заряда в наноструктурах, в том числе гетероструктурах; <p><i>Умеет:</i></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 наноэлектроники; • применять модели и приближения физики конденсированного состояния вещества для описания основных физических свойств фоновых и электронных состояний в полупроводниковых наноструктурах; • оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов в элементах наноэлектроники; • по результатам теоретических и экспериментальных исследований материалов формулировать рекомендации по совершенствованию 	<p>презентации</p>
--	---	--	--------------------

		<p>устройств и систем электроники и нано-электроник</p> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками представления итогов работы в виде научных публикаций, тезисов докладов, оформления заявок на изобретения и др.; • опытом использования результатов исследований для оформления научных проектов, грантов, участия в различных молодежных конкурсах; • опытом внедрения результатов исследований на практике. 	
--	--	---	--

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. Полупроводниковые квантовые ямы. Энергетическая диаграмма.
9. Энергетический спектр электронов и дырок в полупроводниковых квантовых ямах. Плотность состояний.
10. Статистика носителей заряда.
11. Энергетический спектр электронов в низкоразмерных структурах в присутствии постоянного магнитного поля.
12. Переход от дискретного к непрерывному спектру в направлении квантования для систем различной размерности. Квази- низкоразмерные системы.
13. Размерное квантование во внешних полях.
14. Квантовые ямы и сверхрешетки в электрическом поле.
15. Полупроводниковые гетероструктуры.
16. Сверхрешетки.
17. Двумерный электронный газ. Потенциальная энергия электрона в двумерном электронном газе.
18. Полупроводниковые квантовые нити. Энергетический спектр и плотность состояний.

19. Энергетический спектр электронов в квантовых нитях, полученных методом выращивания поверхности скола.
20. Полупроводниковые квантовые точки. Энергетический спектр кубических квантовых точек.
21. Межзонное поглощение света в квантовых ямах.
22. Межуровневые переходы.
23. Оптическая ионизация квантовых ям.
24. Квантовый эффект Холла.
25. Баллистический транспорт.
26. Баллистическая проводимость квантовых нитей.
27. Кулоновская блокада.
28. Туннельные эффекты.
29. Прохождение электронов в структурах с одиночными квантовыми ямами и потенциальными барьерами.
30. Туннелирование электронов через двухбарьерную квантовую структуру.
31. Квантование валентной зоны. Легкие и тяжелые дырки. Влияние деформаций на энергетический спектр.
32. Оптические приборы изготовленные на низкоразмерных структурах.
33. Лазеры на основе квантовых ям.
34. Фотоприемники на квантовых ямах.
35. Резонансный туннельный диод.

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 радиоэлектроники, 2010. - 88 с. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=208663> (08.10.2018).
4. 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. - Библиогр.: с.261-275. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480771> (08.10.2018).

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> (08.10.2018).
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>(08.10.2018).

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
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.