



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

Программа магистратуры
Материалы и технологии электроники и нанoeлектроники

Уровень высшего образования
Магистратура

Форма обучения:
Очная

Статус дисциплины:
Базовая

Махачкала 2021

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО- магистратура по направлению подготовки 11.04.04-Электроника и нанoeлектроника, программа магистратуры: Материалы и технологии электроники и нанoeлектроники от «05» апреля 2017 №301.

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

Рабочая программа дисциплины одобрена:
на заседании кафедры Инженерная физика от « 29 » 06 2021 г., протокол № 10

Зав. кафедрой  Садыков С.А.

на заседании Методической комиссии физического факультета от « 30 » 06. 2021 г., протокол № 10.

Председатель  Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением « 9 » 07 2021 г.

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:

профессиональных: ПК 1.1; ПК-1.3; 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, письменные контрольные задания и промежуточный контроль в форме экзамена.

Объем дисциплины 5 зачетных единиц, в том числе в академических часах по видам учебных занятий:

Семестр	Учебные занятия							Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен)	
	в том числе:								
	всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем					СРС, в том числе экзамен		
		всего	из них						
			Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	КСР	консультации		
9	180	46	16		30	36		98	экзамен

1. Цели освоения дисциплины

Цели 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).

Код компетенции из ФГОС ВО	Наименование компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения
ПК-1. Способен	ПК-1.1.	Знает:

разработать и внедрить современные технологические процессы и программы выпуска изделий микро- и наноэлектроники	Способен проводить анализ и выбор перспективных материалов, технологических процессов и оборудования производства изделий микро- и наноэлектроники	- средства поиска информации в информационных сетях; - основы структурирования и систематизации информации - методика сравнительного критериального анализа; - мировые достижения в области микро- и наноэлектроники; - характеристики продукции лидеров в области производства техники в данной области; - структура существующих производственного и технологического процессов производства изделий микро- и наноэлектроники; - используемое технологическое оборудование и принципы его работы; - методика расчета экономической эффективности технологических процессов. Умеет: - 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; - рассчитывать экономический эффект от внедрения новых материалов, технологических процессов и оборудования. Владеет: - навыками сбора и систематизации информации о перспективных материалах, технологических процессах и оборудовании, используемых в производстве изделий микро- и наноэлектроники; - навыками анализа полученной информации с целью улучшения
---	---	--

		качественных и количественных показателей выпускаемых изделий микро- и наноэлектроники; - навыками оценки направлений научного развития исследований и разработок, связанных с перспективными материалами, технологическими процессами и оборудованием; - навыками проводить сравнительный анализ характеристик и параметров существующих материалов, технологических процессов и оборудования с характеристиками и параметрами перспективных материалов, технологических процессов и оборудования; - навыками оценки технологической и экономической целесообразности внедрения новых материалов, технологических процессов и оборудования в существующий цикл производства изделий микро- и наноэлектроники.
ПК-1	ПК-1.3. Способен проводить анализ данных экспериментальных работ, выработать рекомендации по корректировке и оптимизации параметров и режимов технологических операций и технологических процессов производства изделий микро- и наноэлектроники.	Знает: - технологические процессы, лежащие в основе экспериментальных работ; - основное технологическое оборудование и принципы его действия; - типовые тестовые структуры для анализа технологических процессов и тестирования оборудования; - взаимосвязь параметров и режимов проведения технологических операций и технологических процессов с выходными параметрами качества изделий микроэлектроники; - основы планирования эксперимента; - методы математической статистики; - требования к оформлению отчета по итогам экспериментальной деятельности. Умеет: - планировать экспериментальные работы и контролировать процесс их проведения; - работать на контрольно-измерительном и испытательном оборудовании; - осуществлять контроль и проводить измерения выходных параметров изделий

		на каждом технологическом этапе; - проводить анализ и определять причины отклонения параметров; - анализировать влияние параметров и режимов проведения технологических операций и технологических процессов на выходные параметры качества изделий микро- и нанoeлектроники. - работать со статистическими данными; - оформлять рекомендации по корректировке и оптимизации параметров и режимов проведения технологических операций и технологических процессов; - работать с конструкторской и технологической и другими видами нормативной документации; - оформлять отчет по итогам экспериментальной деятельности. Владеет: - навыками планирования и проведения экспериментальных работ; - навыками проведения контрольно-измерительных мероприятий и испытаний макетов и опытных образцов; - навыками анализа данных экспериментальных работ; - навыками анализ влияния параметров и режимов проведения технологических операций и технологических процессов на параметры качества опытных образцов; - навыками проведения статистического регулирования технологических операций и технологических процессов; - навыками проведения статистического анализа точности и стабильности технологических операций и технологических процессов; - навыками выработки рекомендаций по корректировке и оптимизации параметров и режимов проведения технологических операций и технологических процессов; - навыками оформления отчетов о результатах проведения экспериментальных работ.
ПК-3. Способен	ПК-3.2.	Знает:

<i>руководить подразделениями по измерениям параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур</i>	<i>Способен согласовать и утверждать технические задания на модернизацию и внедрение новых методов и оборудования для измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур</i>	<i>- углубленные знания о структуре, физико-химических свойствах, конструкции и назначении модифицируемых наноматериалов и наноструктур;</i> <i>- назначение, устройство и принцип действия оборудования для измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур;</i> <i>- воздействие используемого оборудования на наноматериалы и наноструктуры;</i> <i>- основные методы измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур;</i> <i>- экономика и управление предприятием;</i> <i>- технический английский язык в области наноматериалов и нанотехнологий;</i> <i>- требования системы экологического менеджмента и системы менеджмента производственной безопасности и здоровья.</i> Умеет: <i>- оценивать технические и экономические риски при выборе методов и оборудования для измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур;</i> <i>- оценивать временные затраты на стандартные и нестандартные методы измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур;</i> <i>- составлять и оформлять техническое задание;</i> <i>- взаимодействовать с работниками смежных подразделений и сторонних организаций.</i> Владеет: <i>- навыками анализа планов перспективного развития предприятия в области измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур;</i> <i>- навыками оценки рисков внедрения новых методов и оборудования измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур;</i> <i>- навыками согласования и утверждение технических заданий на модернизацию и внедрение новых методов и</i>
---	---	--

		оборудования для измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; - навыками разработки и утверждение планировок размещения нового измерительного и технологического оборудования на технологических участках.
--	--	--

4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 5 зачетных единиц, **180** академических часов.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Разделы и темы дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторн ые занятия	Контроль самост. раб.		
	Модуль 1.								
1	Квантовые поведение электронов в структурах пониженной размерности.	11		4	4		6	20	(ДЗ), (С), (КСР)
2	Полупроводниковые наноструктуры.			2	6		6	16	(ДЗ), (С), (КСР)
3	Технология формирования полупроводниковых наноструктур.			2	6		6	14	(ДЗ), (С), (КСР)
	Итого по модулю 1:			8	16		18	50	
	Модуль 2								
4	Квантовые эффекты.			2	4		6	18	(ЛР), (ДЗ), (КСР)
5	Оптические явления в полупроводниковых ннаноструктурах			2	6		6	14	(ДЗ), (С), (КСР)
6	Применение квантово-размерных структур в приборах нанoeлектроники			4	4		6	16	(ДЗ), (С), (КСР)
	Итого по модулю 2:			8	14		18	48	
	ИТОГО:180			16	30		36	98	

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

Лекция 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.

Лекция 2. Плотность состояний. Квантовые структуры с одномерным электронным газом. Квантовые структуры с двумерным электронным газом. Квантовые структуры с нульмерным электронным газом.

Лекция 3. 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.

Лекция 4. Полупроводниковые наноструктуры. Гетеропереходы и гетероструктуры. Сверхрешетки. Квантовые проволоки. Квантовые точки.

Лекция 5. Технология формирования полупроводниковых наноструктур. Формирование квантовых ям. Формирование квантовых нитей. Формирование квантовых точек.

Лекция 6. Квантовые эффекты. Квантовый эффект Холла в квантовых ямах. Квантово-размерный туннельный эффект. Эффект Штарка. Кулоновская блокада.

Лекция 7. Оптические явления в полупроводниковых наноструктурах. Межзонное поглощение в квантовых ямах и сверхрешетках. Межзонное поглощение в квантовых нитях.

Лекция 8. 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.

4.3.2. 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 A_3B_5 . 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 нанoeлектроники

Лазеры с квантовыми ямами и точками. Оптические модуляторы. Фотоприемники на квантовых ямах. Транзисторы с высокой подвижностью носителей. Приборы на основе 1D 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. Физикоматематические 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 компетентностного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий и организации внеаудиторной работы (компьютерных симуляций, деловых и ролевых игр, разбора конкретных ситуаций, психологических и иных тренингов) с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. Интерактивное обучение – метод, в котором реализуется постоянный мониторинг освоения образовательной программы, целенаправленный текущий контроль и взаимодействие (интерактивность) преподавателя и студента в течение всего процесса обучения.

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

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

Основные аспекты применяемой технологии проблемного обучения:

- постановка проблемных задач отвечает целям освоения дисциплины «Физика конденсированного состояния» и формирует необходимые компетенции;
- решаемые проблемные задачи стимулируют познавательную деятельность и научно-

исследовательскую активность студентов.

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

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

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

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.

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

Код компетенции из ФГОС ВО	Наименование компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
ПК-1. Способен разработать и внедрить современные технологические процессы и программы выпуска изделий микро- и нанoeлектроники	ПК-1.1. Способен проводить анализ и выбор перспективных материалов, технологических процессов и оборудования производства изделий микро- и нанoeлектроники	Знает: - средства поиска информации в информационных сетях; - основы структурирования и систематизации информации - методика сравнительного критериального анализа; - мировые достижения в области микро- и нанoeлектроники; - характеристики продукции лидеров в области производства техники в данной области; - структура существующих производственного и технологического процессов производства изделий микро- и нанoeлектроники; - используемое технологическое оборудование и принципы его работы; - методика расчета экономической эффективности технологических процессов. Умеет: - искать информацию в	Устный опрос, письменный опрос, выступление на семинарах, презентации докладов.

		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; - рассчитывать экономический эффект от внедрения новых материалов, технологических процессов и оборудования. Владеет: - навыками сбора и систематизации информации о перспективных материалах, технологических процессах и оборудовании, используемых в производстве изделий микро- и наноэлектроники; - навыками анализа полученной информации с целью улучшения качественных и количественных показателей выпускаемых изделий микро- и наноэлектроники; - навыками оценки направлений научного развития исследований и разработок, связанных с перспективными материалами, технологическими процессами и оборудованием; - навыками проводить сравнительный анализ характеристик и параметров существующих материалов, технологических процессов и оборудования с характеристиками и параметрами перспективных материалов, технологических процессов и	
--	--	--	--

		оборудования; - навыками оценки технологической и экономической целесообразности внедрения новых материалов, технологических процессов и оборудования в существующий цикл производства изделий микро- и нанoeлектроники.	
ПК-1	ПК-1.3. Способен проводить анализ данных экспериментальных работ, выработать рекомендации по корректировке и оптимизации параметров и режимов технологических операций и технологических процессов производства изделий микро- и нанoeлектроники.	Знает: - технологические процессы, лежащие в основе экспериментальных работ; - основное технологическое оборудование и принципы его действия; - типовые тестовые структуры для анализа технологических процессов и тестирования оборудования; - взаимосвязь параметров и режимов проведения технологических операций и технологических процессов с выходными параметрами качества изделий микроэлектроники; - основы планирования эксперимента; - методы математической статистики; - требования к оформлению отчета по итогам экспериментальной деятельности. Умеет: - планировать экспериментальные работы и контролировать процесс их проведения; - работать на контрольно-измерительном и испытательном оборудовании; - осуществлять контроль и проводить измерения выходных параметров изделий на каждом технологическом этапе; - проводить анализ и определять причины отклонения параметров; - анализировать влияние параметров и режимов	Устный опрос, письменный опрос, выступление на семинарах, презентации докладов.

		проведения технологических операций и технологических процессов на выходные параметры качества изделий микро- и нанoeлектроники. - работать со статистическими данными; - оформлять рекомендации по корректировке и оптимизации параметров и режимов проведения технологических операций и технологических процессов; - работать с конструкторской и технологической и другими видами нормативной документации; - оформлять отчет по итогам экспериментальной деятельности. Владеет: - навыками планирования и проведения экспериментальных работ; - навыками проведения контрольно-измерительных мероприятий и испытаний макетов и опытных образцов; - навыками анализа данных экспериментальных работ; - навыками анализ влияния параметров и режимов проведения технологических операций и технологических процессов на параметры качества опытных образцов; - навыками проведения статистического регулирования технологических операций и технологических процессов; - навыками проведения статистического анализа точности и стабильности технологических операций и технологических процессов; - навыками выработки рекомендаций по корректировке и оптимизации параметров и режимов проведения технологических операций и технологических процессов; - навыками оформления отчетов	
--	--	---	--

		о результатах проведения экспериментальных работ.	
ПК-3. Способен руководить подразделениями по измерениям параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур	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	Знает: - углубленные знания о структуре, физико-химических свойствах, конструкции и назначении модифицируемых наноматериалов и наноструктур; - назначение, устройство и принцип действия оборудования для измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; - воздействие используемого оборудования на наноматериалы и наноструктуры; - основные методы измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; - экономика и управление предприятием; - технический английский язык в области наноматериалов и нанотехнологий; - требования системы экологического менеджмента и системы менеджмента производственной безопасности и здоровья. Умеет: - оценивать технические и экономические риски при выборе методов и оборудования для измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; - оценивать временные затраты на стандартные и нестандартные методы измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; - составлять и оформлять техническое задание; - взаимодействовать с работниками смежных подразделений и сторонних организаций. Владеет: - навыками анализа планов перспективного развития	Устный опрос, письменный опрос, выступление на семинарах, мини-конференция.

		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; - навыками согласования и утверждение технических заданий на модернизацию и внедрение новых методов и оборудования для измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; - навыками разработки и утверждение планировок размещения нового измерительного и технологического оборудования на технологических участках.	
--	--	--	--

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 наращивания 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

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

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся из текущего контроля – 60 % и промежуточного контроля – 50 %.

Текущий контроль по дисциплине включает:

- посещение занятий - 10 баллов, 5- 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.

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

Основная

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. - 22 286 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. ЭБСIPRbooks:<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 госуниверситета.
10. Springer. <http://link.springer.com>, <http://materials.springer.com/>
11. Scopus: <https://www.scopus.com>
12. WebofScience: webofknowledge.com

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.