



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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
Дисциплины
«Кремний – материал нанoeлектроники»

Кафедра инженерной физики

Направление подготовки

11.04.04 – ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль подготовки:

Материалы и технологии электроники и нанoeлектроники

Уровень высшего образования:

Магистратура

Форма обучения:

Очная

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
Офицeрова Н.В. – к.ф.-м.н., доцент

Рабочая программа дисциплины одобрена:

на заседании кафедры инженерной физики от «29» июня 2021г.,
протокол № 10

Зав. кафедрой —  — Садыков С.А.

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

Председатель —  — Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим
управлением «09» июля 2021г.

Нач. УМУ  Гасангаджиева А.Г.
(подпись)

Аннотация

Программа по дисциплине «Кремний – материал нанoeлектроники» по направлению **11.04.04. – электроника и нанoeлектроника, профиль подготовки-Материалы и технологии электроники и нанoeлектроники**(уровень: магистратура) составлена в соответствии требованиями федерального государственного образовательного стандарта (ФГОС 3++) на основании:

1. Федеральным Законом Российской Федерации от 29 декабря 2012 г. №273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»,
2. Приказом Минобрнауки России от 29 июня 2015 г. № «Об утверждении Порядка организации осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры»,
3. Приказом Минобрнауки России от 19.12.2013 №1367 «Об утверждении Порядка организации осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры»,
4. Приказом Минобрнауки России от 06.07.2015 г. №667 «Об утверждении форм сведений о реализации образовательных программ, заявленных для государственной аккредитации образовательной деятельности»,
5. Требованиями государственных образовательных стандартов, федеральных государственных образовательных стандартов к структуре, результатам освоения и условиям реализации образовательных программ высшего образования,
6. Уставом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Дагестанский государственный университет» (далее - ДГУ, университет):
7. Иными нормативными правовыми актами, действующими на территории Российской Федерации, локальными актами университета;
8. Положением об итоговой государственной аттестации выпускников Дагестанского государственного университета основании, утвержденного решением Ученого совета Дагестанского государственного университета от 28.01.2016 (протокол №5).

Содержание программы по дисциплине «Кремний – материал нанoeлектроники» посвящено рассмотрению проблем и возможностей использования кремния для создания устройств и приборов нанoeлектроники и нанофотоники. Рассматриваются квантоворазмерные эффекты, возможности их проявления в кремниевых элементах и структурах, физические ограничения, а также перспективные технологические возможности формирования наноразмерных кремниевых структур.

Программа нацелена на формирование следующих компетенций выпускника: **профессиональных**–ПК-1.2;ПК-3.1; ПК-3.2.

Компетенции магистерских программ должны учитывать региональные особенности и требования работодателей.

Уровень начальной подготовки обучающегося для успешного освоения дисциплины **«Кремний – материал нанoeлектроники»**:

Иметь представление о полупроводниковых материалах электронной техники и кремнии, в частности, физических свойствах и структуре кремния, технологии получения и принципах действия приборов на его основе;

Знать основы дисциплин «Материалы электронной техники», «Физика конденсированного состояния», «Термодинамика», «Статистическая физика», «Физические основы электроники».

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, письменные контрольные задания и промежуточный контроль в форме зачета.

Объем дисциплины 2 зачетные единицы, в том числе в академических часах по видам учебных занятий

Семестр	Учебные занятия								Форма промежуточной аттестации (зачет, диф.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	72	31	8	-	16	24	1	48	5 (зачет)

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель дисциплины – рассмотрение проблем и возможностей использования кремния для создания устройств и приборов нанoeлектроники и нанофотоники, а также перспективных технологических возможностей формирования наноразмерных кремниевых структур.

Задачи дисциплины:

- формирование представления о физических основах кремниевой нанoeлектроники;
- развитие представлений о технологических методах и возможностях формирования низкоразмерных кремниевых структур.

Задачи профессиональной деятельности (профессиональные функции)

Выпускник по направлению подготовки **11.04.04. – электроника и наноэлектроника** с присвоением **степени** магистра техники и технологии должен быть подготовлен к решению профессиональных задач, (дополнительных к задачам, решаемым бакалавром физики) в соответствии с профилем магистерской программы и видами профессиональной деятельности:

научно-исследовательская деятельность:

- разработка рабочих планов и программ проведения научных исследований и технических разработок, подготовка отдельных заданий для исполнителей;
- сбор, обработка, анализ и систематизация научно-технической информации по теме исследования, выбор методик и средств решения задачи; разработка методики, проведение исследований и измерений параметров и характеристик изделий электронной техники, анализ их результатов;
- использования физических эффектов при разработке новых методов исследований и изготовлении макетов измерительных систем;
- разработка физических и математических моделей, компьютерное моделирование исследуемых физических процессов, приборов, схем и устройств, относящихся к профессиональной сфере;
- подготовка научно-технических отчетов, обзоров, рефератов, публикаций по результатам выполненных исследований, подготовка и представление докладов на научные конференции и семинары;
- фиксация и защита объектов интеллектуальной собственности.

научно-педагогическая деятельность:

- работа в качестве преподавателя средних специальных или высших учебных заведений по учебным дисциплинам предметной области данного направления под руководством профессора, доцента или старшего преподавателя;
- участие в разработке учебно-методических материалов для студентов по дисциплинам предметной области данного направления;
- участие в модернизации или разработке новых лабораторных практикумов по дисциплинам профессионального цикла.

проектно-конструкторская деятельность:

- анализ состояния научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников;
- определение цели, постановка задач проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения, подготовка технических заданий на выполнение проектных работ;
- проектирование устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований; разработка проектно-конструкторской документации в соответствии с методическими и нормативными требованиями.

Основные разделы программы курса: Низкоразмерные кремниевые структуры (пористый кремний). КНИ – и КНС – технология. Кремниевая одноэлектроника. Оптические и фотоэлектрические свойства квантово – размерных структур Si – Ge. Методы получения структур Si – Ge. Синтез проводящих и полупроводниковых соединений в кремнии. Нанокристаллы кремния, получаемые разными способами. Перспективы кремниевой электроники.

2. Место дисциплины «Кремний – материал нанoeлектроники» в структуре ОПОП магистратуры.

Дисциплина «Кремний – материал нанoeлектроники» в структуре ОПОП ВПО находится в цикле профессиональных дисциплин (вариативная часть) образовательной программы магистратуры по направлению подготовки **11.04.04. – электроника и нанoeлектроника, профиль подготовки - Физика полупроводников и диэлектриков.**

Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой инженерной физики.

Для освоения дисциплины требуются знания и умения, приобретенные обучающимися в результате освоения ряда предшествующих дисциплин (разделов дисциплин), таких как:

- Материалы электронной техники;
- Физика полупроводников;
- Физические основы электроники;
- Нанoeлектроника;

и знания в области математики.

Для освоения данной дисциплины магистр должен иметь основополагающие представления об основных подходах к описанию реальных физических процессов и явлений, как на классическом, так и на квантовом уровне; иметь знания о методах решения практических задач физики полупроводников на основе современных математических моделей описания физических объектов; владеть фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики полупроводников, а также методами физического исследования. 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.

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

<i>Код компетенции из ФГОС ВО</i>	<i>Наименование компетенции из ФГОС ВО</i>	<i>Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)</i>
ПК-1.2	Способен организовать и проводить экспериментальные	Знает: - базовые технологические процессы и оборудование производства изделий микро- и

	работы по отработке и внедрению новых материалов, технологических процессов и оборудования производства изделий микро- и нанoeлектроники.	нанoeлектроники. - передовые технологические процессы и оборудование; - современные материалы, используемые в производстве изделий микро- и нанoeлектроники. - материалы микроэлектронной промышленности; <i>Умеет:</i> - анализировать передовые разработки в области оборудования и технологий; - планировать экспериментальные работы; - работать с контрольноизмерительным оборудованием; - осуществлять контроль и проводить измерения выходных параметров изделий на каждом технологическом этапе; <i>Владеет:</i> - навыками анализа передовых разработок в области технологий и оборудования для производства изделий микроэлектроники; - навыками разработки планов проведения экспериментальных работ; - навыками разработки методик и средств оценки качества выполнения технологических операций и контроля параметров используемого оборудования; - навыками контроля и проведения измерений выходных параметров изделий на каждом технологическом этапе; - навыками анализа и определения причин отклонения параметров от заданных; - навыками контроля накопления статистических данных и их обработки, осуществляемых специалистами 5 и 6 уровня квалификации; - навыками анализа результатов проведения экспериментальных работ; - навыками изучения периодических изданий по технологии производства изделий микроэлектроники; - опытом посещения профильных выставок оборудования, технологических семинаров и конференций.
ПК-3.1	Способен организовать и контролировать процессы измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур	<i>Знает:</i> - нормативные правовые и локальные акты по планированию и организации работ по измерению параметров и процессов модификации свойств наноматериалов и наноструктур; - требования нормативных документов по метрологическому обеспечению средств

		измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; - технология и порядок организации процессов измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур на предприятии (в подразделении); - назначение и правила эксплуатации измерительных и технологических средств, используемых в производстве; <i>Умеет:</i> - планировать проведение работ по измерению параметров и процессов модификации свойств наноматериалов и наноструктур; - собирать, анализировать и обобщать данные; - проводить статистическую обработку данных; <i>-Владеет:</i> - навыками составления рабочих планов на проведение процессов измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; - навыками составления графиков загрузки измерительного и технологического оборудования;
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	<i>Знает:</i> - 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; - технический английский язык в области наноматериалов и нанотехнологий; <i>-Умеет:</i> - 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; <i>Владеет:</i>

		- 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;
--	--	--

4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа.

4.2. Структура дисциплины.

№ пп	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	Практическ ие занятия	Лаборатор ные	Контроль самост.		
	Модуль 1.								
1.	Низкоразмерные кремниевые среды.	9		2	2			8	(ДЗ), (С), (КСР)
2.	Перспективы кремния как материала экстремальной электроники.	9		1	3			8	(ДЗ), (С), (КСР)
3.	Кремниевая одноэлектроника	9		1	3			8	(ДЗ), (С), (КСР)
	Итого по модулю 1:			4	8			24	
	Модуль 2								
4.	Оптические и фотоэлектрические свойства квантово-размерных структур Si - Ge.	9		2	2			8	(ДЗ), (С), (КСР)
5.	Методы получениясамоор	9		1	2			8	(ДЗ), (С), (КСР)

	ганизованныхSi – Генаноструктур.								
6.	Квантовые точки из монокристаллическогоSi, сформированные ионной имплантацией в пленках SiO ₂ . Перспективы кремниевой электроники.	9		1	4			8	(ДЗ), (С), (КСР)
	Итого по модулю 2:			4	8			24	
	ИТОГО: 72			8	16			48	

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

Модуль 1

Тема 1. Низкоразмерные кремниевые структуры. Актуальность использования низкоразмерного кремния. Формирование низкоразмерного кремния. Структурные модификации пористого кремния. Применение низкоразмерного кремния.

Тема 2. Кремний как материал экстремальной электроники. Структуры «кремний на изоляторе» и их преимущества. Технологии изготовления структур КНИ. Структуры КНС, их преимущества и перспективы применения.

Тема 3. Кремниевая одноэлектроника. Базовая теория кулоновской блокады. Кулоновская лестница. Сотуннелирование. Квантово – размерные эффекты. Эффекты, связанные с кулоновской блокадой. Кремниевые одноэлектронные приборы.

Модуль 2

Тема 4. Оптические и фотоэлектрические свойства квантово – размерных структур Si- Ge. Фотолюминесценция структур Si-Ge, полученных молекулярно – лучевой эпитаксией. Si - Ge структуры с квантовыми точками и субмонослойными включениями. Радиационная стойкость кристаллов с квантовыми точками.

Тема 5. Методы получениясамоорганизованныхSi–Генаноструктур.

Фундаментальные предпосылки. Рост и особенности упорядочения ансамблей нанокластеровGe. Особенности создания гетероструктурSi–Ge методом молекулярно – лучевой эпитаксией. Искусственные подложки. Свойства самоорганизованныхнаноструктурSi–Ge, полученных методами

ионной имплантации. Получение самоорганизованных наноструктур Si – Ge методом термического испарения.

Тема 6. Квантовые точки из монокристаллического Si, сформированные ионной имплантацией в пленках SiO₂. Нанокристаллы Si в SiO₂, полученные ионной имплантацией и без ее применения. Влияние легирующей примеси на люминесценцию, связанную с нанокристаллами Si в матрице SiO₂. Оптические и люминесцентные свойства SiO₂. Образование нанокристаллов кремния между слоями SiO₂. Перспективы кремниевой электроники.

4.3.1. Содержание лекционных занятий

модуль	Содержание темы
1.	<u>Лекция 1.</u> Низкоразмерные кремниевые среды. <u>Лекция 2.</u> Перспективы кремния как материала экстремальной электроники.
2.	<u>Лекция 3.</u> Кремниевая одноэлектроника. Оптические и фотоэлектрические свойства квантово – размерных структур Si - Ge. <u>Лекция 4.</u> Методы получения самоорганизованных Si–Ge наноструктур. Квантовые точки из монокристаллического Si, сформированные ионной имплантацией в пленках SiO ₂ .

4.3.2. Темы семинарских и практических занятий

1. Нанокристаллические пленки кремния, получаемые методом CVD.
2. Нанокристаллы кремния, получаемые с помощью электрохимического процесса.
3. Нанокристаллы кремния в монокристаллическом кремнии.
4. Нанокристаллы кремния в матрице аморфного кремния.
5. Формирование нанопроволок кремния.
6. Кремниевые нанотрубки.
7. Кремниевые свернутые структуры.
8. Альтернативный метод получения кремниевых самосвернутых структур.
9. Синтез проводящих и полупроводящих соединений в кремнии.
10. Ионный синтез соединений A³B⁵ в кремниевой матрице.
11. Ионный синтез силицидов.

4.3.3. Темы для самостоятельной работы

1. Фотоприемники на основе наноструктурированных пленок гидрогенизированного кремния.
2. Кремниевые одноэлектронные приборы.
3. Структуры КНС, их преимущества и перспективы применения.
4. Кремниевые нанотрубки.
5. Нанокристаллы кремния.
6. Жидкий кремний в технологии печати транзисторов.

7. Технологии, основанные на использовании «жидкого» кремния.
8. Нанотранзистор на кремнии.
9. Получение черного кремния.
10. Новые типы цифровых светочувствительных детекторов и улавливания солнечной энергии на кремнии.
11. Получение нанокристаллических пленок кремния.
12. Кристаллы кремния с квантовыми точками.
13. МДП структуры с квантовыми точками.
14. Фотодетекторы с квантовыми точками.
15. Кремниевый одноэлектронный транзистор.
16. Плазмохимическое осаждение кремния.

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 выбирает 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 подготовлены 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.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Промежуточный контроль.

В течение семестра студенты выполняют:

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

Итоговый контроль.

Зачет в конце 9 семестра, включающий проверку теоретических знаний и умение решения по всему пройденному материалу.

Для получения зачета по изучаемому предмету, кроме прочих требований, необходимым является защита реферата по предложенным темам в виде презентации.

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

7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Фонды оценочных средств (контрольные вопросы и типовые задания для практических занятий, зачета; тесты и компьютерные тестирующие программы, примерную тематику рефератов и т.п., а также иные формы контроля, позволяющие оценить степень сформированности компетенций обучающихся) для проведения текущего, промежуточного и итогового контроля успеваемости и промежуточной аттестации имеются на кафедре.

Методические рекомендации преподавателям по разработке системы оценочных средств и технологий для проведения текущего контроля успеваемости по дисциплинам (модулям) ОПОП (тематики докладов, рефератов и т.п.), а также для проведения промежуточной аттестации по дисциплинам (модулям) ОПОП (в форме зачетов, экзаменов, курсовых работ / проектов и т.п.) и практикам представлены в Положении «О модульно-рейтинговой системе обучения студентов Дагестанского государственного университета», утвержденном ученым Советом Даггосуниверситета.

Уровень освоения учебных дисциплин обучающимися определяется следующими оценками: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценки **отлично** заслуживает обучающийся, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умение свободно выполнять практические задания, предусмотренные программой, усвоивший основную литературу и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой.

Оценки **хорошо** заслуживает обучающийся, обнаруживший полное знание учебного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе практические задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе.

Оценки **удовлетворительно** заслуживает обучающийся, обнаруживший знания основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющийся с выполнением практических заданий, предусмотренных программой, знакомых с основной литературой, рекомендованной программой.

Оценка **неудовлетворительно** выставляется обучающемуся, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой практических заданий.

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	Наименование	Планируемые	результаты	Процедура
-----	--------------	-------------	------------	-----------

<i>компетенции из ФГОС ВО</i>	<i>компетенций из ФГОС ВО</i>	<i>обучения</i>	<i>освоения</i>
ПК-1.2	Способен организовать и проводить экспериментальные работы по отработке и внедрению новых материалов, технологических процессов и оборудования производства изделий микро- и наноэлектроники.	Знает: современные методы научно-исследовательской работы; требования к оформлению результатов выполненной работы; современные тенденции развития материаловедения, твердотельной электроники; материаловедческие проблемы электроники и наноэлектроники; основные закономерности формирования свойств полупроводников и диэлектриков с точки зрения зонной теории; физические процессы и явления в полупроводниках и диэлектриках.	Устный опрос
ПК-3.1	Способен организовать и контролировать процессы измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур	Умеет: формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития твердотельной электроники и наноэлектроники; выбирать необходимые методы исследования; выбирать методы и средства решения конкретных задач; анализировать, систематизировать и обобщать научно-техническую информацию в области современного материаловедения; по результатам теоретических и экспериментальных исследований материалов формулировать рекомендации по совершенствованию устройств и систем электроники и наноэлектроники.	Устный опрос, письменный опрос, презентация
ПК-3.2	Способен согласовать и утверждать технические задания на модернизацию и внедрение новых методов и оборудования для измерений	Владеет: методами экспериментальных исследований свойств полупроводников и диэлектриков на современном инновационном оборудовании; основами теоретических знаний для решения практических задач; опытом выявления сути	Презентация, выступление на семинарах, мини-конференция.

	параметров модификации свойств наноматериалов и наноструктур	и материаловедческих проблем твердотельной электроники, конкретизации целей и задач исследований объектов; навыками анализа и обработки результатов исследований на основе теоретических представлений физики полупроводников и диэлектриков;	
--	--	--	--

7.2. Типовые контрольные задания

Примерные контрольные работы

Вариант 1

1. Структуры «кремний-на-изоляторе» и их преимущества.
2. Почему кремний является основным материалом современной микроэлектроники?
3. Что такое черный кремний и где его используют?
4. Чем отличаются оптические свойства пористого кремния от монокристаллического?
5. При каком поперечном размере пор R пористый кремний можно считать макропористым?
6. Каковы основные свойства технологии сращивания пластин при КНИ - технологии?
7. Что такое эндотаксия?

Вариант 2

1. Технологии изготовления структур КНИ
2. Каким образом можно расширить использование монокристаллического кремния в оптоэлектронике?
3. Каковы перспективы применения пористого кремния в наноэлектронике?
4. При каких условиях наблюдается гашение ФЛ в пористом кремнии?
5. Возможно ли использовать пористый кремний, поры которого заполнены другими химическими соединениями?
6. Каковы основные свойства технологии SmartCut?
7. Что собой представляет КНИ – структура?

Вариант 3

1. Применение пористого кремния.
2. Каково электрическое сопротивление пористого кремния?
3. При каких значениях пористости низкоразмерный кремний генерирует видимый свет?
4. Что является характерной особенностью пористого кремния?

5. Каким образом возможно управлять длиной волны излучения в пористом кремнии?
6. Что такое КНИ – технология?
7. В каком методе получения КНИ – структур используют алмазную крошку?

Вариант 4

1. Технологии изготовления структур КНИ (технологии сращивания пластин и SmartCut)
2. Что такое пористый кремний?
3. Сравните теплопроводности монокристаллического и пористого кремния.
4. Какие виды люминесценции можно наблюдать в пористом кремнии?
5. Что является основным недостатком электролюминесцентных структур на основе пористого кремния?
6. Каков основной недостаток SIMOX технологии?
7. Какой диэлектрик преимущественно используется в КНИ структурах?

Вариант 5

1. Структурные модификации пористого кремния.
2. Справедливо ли утверждение, что пористый кремний является аморфным по структуре?
3. Что понимают под понятием «жидкий кремний»?
4. Какие составы электролитов используются при формировании низкоразмерного кремния?
5. Возможно ли использовать пористый кремний для создания светодиодов?
6. Каковы основные преимущества структур КНИ перед обычными кремниевыми подложками?
7. Как называется метод получения КНИ – структур, объединяющий преимущества методов сращивания пластин и ионного внедрения?

Вариант 6

1. Методы получения пористого кремния (SIMOX-процесс и эпитаксия).
2. При каких значениях пористости кремний можно считать материалом наноэлектроники?
3. Присутствие носителей заряда какого знака необходимо для получения низкоразмерного кремния при анодировании?
4. Перечислите основные недостатки кремния как материала наноэлектроники.
5. Какой метод используется для придания кремнию пористой структуры?
6. Что понимают под процессом SIMOX?

7. Какой метод создания МОП транзисторов позволяет исключить влияние паразитной емкости р – п переходов?

Вариант 7

1. Актуальность использования пористого кремния в нанoeлектронике.
2. Как классифицируется пористый кремний по размеру пор?
3. Что понимают под пористостью низкоразмерного кремния?
4. В какой области спектра можно наблюдать люминесценцию пористого кремния?
5. В кремнии какого типа проводимости легче формировать пористую структуру?
6. Почему КНИ структуры можно отнести к наноструктурам?
7. Каково место эпитаксии в создании структур КНИ?

Вопросы к зачету.

1. Почему кремний является основным материалом современной микроэлектроники?
2. Какие причины сдерживают использование монокристаллического кремния в оптоэлектронике?
3. Сравните электрические сопротивления монокристаллического и пористого кремния.
4. Сравните теплопроводности монокристаллического и пористого кремния.
5. Какие составы электролитов используются при формировании низкоразмерного кремния?
6. Присутствие носителей заряда какого знака необходимо для получения низкоразмерного кремния при анодировании?
7. Как классифицируется пористый кремний по размеру пор?
8. Что понимают под пористостью низкоразмерного кремния?
9. При каких значениях пористости низкоразмерный кремний генерирует видимый свет?
10. Каковы перспективы применения пористого кремния в нанoeлектронике?
11. Какие проблемы в технологии полупроводниковых приборов можно решить с помощью структуры КНИ?
12. Каковы основные преимущества структур КНИ перед обычными кремниевыми подложками?
13. Каковы основные свойства технологии SmartCut?
14. Что понимают под процессом SIMOX?
15. Каковы основные свойства технологии сращивания пластин?
16. Каково место эпитаксии в создании структур КНИ?
17. Каковы преимущества структур КНС и каковы ограничения в развитии КНС направления?

18. Каковы преимущества магнетронного распыления по сравнению с термическими способами осаждения?
19. Каковы возможности экспериментальной реализации многослойных систем для вакуумного ультрафиолета?
20. Каков наиболее простой способ получения многослойных структур металлов?
21. Что общего и в чём разница между потенциостатическим и гальваностатическим электролитическим осаждением?
22. Каковы особые свойства поверхностных наноструктур, определяющие перспективы их применения?
23. Каковы возможности получения поверхностных структур методом молекулярно-лучевой эпитаксии?
24. Что представляет собой химическая сборка поверхностных наноструктур?
25. Каковы перспективы низкоразмерных структур на основе пористого кремния?
26. Что представляют собой структуры кремний-на-изоляторе (КНИ)?

***Примерные темы рефератов
по курсу «Кремний – материал наноэлектроники»***

1. Фотоприемники на основе наноструктурированных пленок гидрогенизированного кремния.
2. Кремниевые одноэлектронные приборы.
3. Структуры КНС, их преимущества и перспективы применения.
4. Кремниевые нанотрубки.
5. Нанокристаллы кремния.
6. Жидкий кремний в технологии печати транзисторов.
7. Технологии, основанные на использовании «жидкого» кремния.
8. Нанотранзистор на кремнии.
9. Получение черного кремния.
10. Новые типы цифровых светочувствительных детекторов и улавливания солнечной энергии на кремнии.
11. Получение нанокристаллических пленок кремния.
12. Кристаллы кремния с квантовыми точками.
13. МДП структуры с квантовыми точками.
14. Фотодетекторы с квантовыми точками.
15. Кремниевый одноэлектронный транзистор.
16. Плазмохимическое осаждение кремния

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

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся

из текущего контроля – 60 % и промежуточного контроля – 40 %.

Текущий контроль по дисциплине включает:

- посещение занятий - 10 баллов,
- участие на практических занятиях - 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.

Критерии оценок на зачетах и экзаменах.

В экзаменационный билет рекомендуется включать не менее 3 вопросов, охватывающих весь пройденный материал, также в билетах могут быть задачи и примеры.

Ответы на все вопросы оцениваются максимум **100 баллами**.

Критерии оценок следующие:

- **100 баллов** – студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности.
- **90 баллов** - студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности, но допускает отдельные неточности.
- **80 баллов** - студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности, но допускает некоторые ошибки общего характера.
- **70 баллов** - студент хорошо понимает пройденный материал, но не может теоретически обосновывать некоторые выводы.
- **60 баллов** – студент отвечает в основном правильно, но чувствуется механическое заучивание материала.
- **50 баллов** – в ответе студента имеются существенные недостатки, материал охвачен «половинчато», в рассуждениях допускаются ошибки.
- **40 баллов** – ответ студента правилен лишь частично, при разъяснении материала допускаются серьезные ошибки.
- **20 - 30 баллов** - студент имеет общее представление о теме, но не умеет логически обосновать свои мысли.
- **10 баллов** - студент имеет лишь частичное представление о теме.
- **0 баллов** – нет ответа.

Эти критерии носят в основном ориентировочный характер. Если в билете имеются задачи, они могут быть более четкими.

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

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

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

Основная литература:

1. Герасименко Н.Н., Пархоменко Ю.Н. Кремний - материал нанoeлектроники– М.: Техносфера,. 2007, - 352 С. – свободный доступ: http://www.studmed.ru/gerasimenko-nn-parhomenko-yun-kremniy-material-nanoelektroniki_49757c03759.html
2. Шелованова Г. Н. Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники: Курс лекций. – Красноярск: ИПК СФУ, 2009. – 220 С. – свободный доступ: http://www.studmed.ru/shelovanova-gn-aktualnye-problemy-sovremennoy-elektroniki-i-nanoelektroniki-kurs-lekciy_e37d77e6f8e.html
3. Зебрев Г.И. Физические основы кремниевой электроники. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2012, - 240 С. – свободный доступ: <https://nashol.com/2017102597034/fizicheskie-osnovi-kremnievoi-nanoelektroniki-zebrev-g-i-2011.html>
4. Чаплыгин Ю.А. Нанотехнологии в Электронике. М., Техносфера, 2005, 450 С. – свободный доступ: http://www.studmed.ru/chaplygin-yua-red-nanotehnologii-v-elektronike_9ff2329dc4e.html#

Дополнительная литература

1. Борисенко В. Е. Нанoeлектроника: теория и практика: учебник / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, А. Л. Данилюк, Е. А. Уткина. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013, 366 С.- 15 (в научной библиотеке ДГУ).
2. Андриевский Р. А. Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы/ Р. А. Андриевский. М.: Лаборатория знаний, 2017.- 255 С. – свободный доступ: <http://avidreaders.ru/book/osnovy-nanostrukturnogo-materialovedeniya-vozmozhnosti-i-problemy.html>
3. Сергеев В. А.-Элементы и устройства нанoeлектроники: учебное пособие – Ульяновск: УлГТУ, 2016. – 137 С.- свободный доступ: <http://venec.ulstu.ru/lib/disk/2017/43.pdf>

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

Дагестанский государственный университет имеет доступ к комплектам библиотечного фонда основных отечественных и зарубежных академических и отраслевых журналов по профилю подготовки магистров по направлению подготовки **11.04.04. - электроника и наноэлектроника**(уровень: магистратура):

1. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» www.biblioclub.ru договор № 55_02/16 от 30.03.2016 г. об оказании информационных услуг. (доступ продлен до сентября 2019 года).
2. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ). <https://uisrussia.msu.ru/> Доступ бессрочный.
3. Доступ к электронной библиотеки на <http://elibrary.ru> основании лицензионного соглашения между ФГБОУ ВПО ДГУ и «ООО» «Научная Электронная библиотека» от 15.10.2003. (Раз в 5 лет обновляется лицензионное соглашение)
4. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/> (единое окно доступа к образовательным ресурсам).
5. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
6. Российский портал «Открытого образования» <http://www.openet.edu.ru>
7. Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета <http://edu.icc.dgu.ru>
8. Информационные ресурсы научной библиотеки Даггосуниверситета <http://elib.dgu.ru> (доступ через платформу Научной электронной библиотеки elibrary.ru).
9. Федеральный центр образовательного законодательства <http://www.lexed.ru>
10. <http://www.phys.msu.ru/rus/library/resources-online/> - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета МГУ.
11. <http://www.phys.spbu.ru/library/> - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета.
12. **Мировая интерактивная база данных SpringerLink.** Доступ ДГУ предоставлен согласно договору № 582-13SP подписанный Министерством образования и науки предоставлен по контракту 2017-2018 г., подписанный ГПНТБ с организациями-победителями конкурса. <http://link.springer.com>. Доступ открыт с 01.01.2018.
13. **Мультидисциплинарная библиографическая и реферативная база данных SCOPUS** <https://www.scopus.com>. Доступ предоставлен согласно сублицензионному договору № Scopus/73 от 08 августа 2017 г. подписанный Министерством образования и науки предоставлен по контракту 2017-2018 г.г., подписанный ГПНТБ с организациями-победителями конкурса. Доступ открыт с 01 сентября 2017 г.

14. БДСAGEPremier.ЖурналыSagePublications:<http://journals.sagepub.com/> .
Доступоткрытс 01 января 2018 г.
15. Международная реферативная база данныхWebofScience -
webofknowledge.com.Доступ предоставлен согласно сублицензионному
договору № WoS/280 от 01 апреля 2017г. подписанный Министерством
образования и науки предоставлен по контракту 2017-2018 г.г.,
подписанный ГПНТБ с организациями-победителями конкурса Доступ
открыт с 01 апреля 2017 г.

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

Магистр в процессе обучения должен не только освоить учебную программу, но и приобрести навыки самостоятельной работы. Магистр 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 магистру 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	<i>Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать 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.</i>

<i>Практические занятия</i>	<i>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.</i>
<i>Реферат</i>	<i>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.</i>
<i>Подготовка к зачету</i>	<i>При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и др.</i>

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 и интерактивной доски. Использование анимированных интерактивных компьютерных демонстраций и практикумов-тренингов по ряду разделов дисциплины.

Для проведения лекций может быть использовано проекционное оборудование с подключенным к нему персональным компьютером: с использованием мультимедийных презентаций и интерактивной доски. Использование анимированных интерактивных компьютерных демонстраций и практикумов-тренингов по ряду разделов дисциплины.

Технические характеристики персонального компьютера должны обеспечивать возможность работы с современными версиями операционной системы Windows, пакета MicrosoftOffice, обслуживающих программ и другого, в том числе и сетевого программного обеспечения.

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

Материально – техническая база кафедры инженерной физики, которая осуществляет подготовку по направлению 11.03.04 «**Электроника и наноэлектроника**», позволяет готовить магистров, отвечающих требованиям ФГОС. На кафедре 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.