



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего образования
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(физический факультет)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Кремний – материал нанoeлектроники»

Кафедра инженерной физики факультета физического

Образовательная программа магистратуры
11.04.04- Электроника и нанoeлектроника

Направленность (профиль) программы:
Материалы и технологии электроники и нанoeлектроники

Форма обучения:
Очная

Статус дисциплины:
Входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений

Рабочая программа дисциплины «*Кремний – материал нанoeлектроники*» составлена в 2022 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО – магистратура по направлению подготовки **11.04.04 Электроника и нанoeлектроника** от 22 сентября 2017 г. № 959 (с изменениями и дополнениями №1456 от 26.11.2020 г.).

Рабочая программа дисциплины одобрена:
на заседании кафедры Инженерная физика от «22» 03 2022 г., протокол № 7

Зав. кафедрой  Садыков С.А.

на заседании Методической комиссии физического факультета от
« 23 » 03. 2022 г., протокол № 7

Председатель  Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим

управлением « 30 » 03 2022 г.  Гасангаджиева А.Г.

Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Кремний – материал нанoeлектроники» входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений ОПОП магистратуры по направлению подготовки **11.04.04 – Электроника и нанoeлектроника**.

Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой инженерной физики. Содержательно она логически связана с дисциплинами «Наноструктурные материалы», «Нанoeлектроника», а также «Физические основы полупроводниковых наноструктур», «Функциональная электроника» курсов по выбору профессионального цикла. Является основой научной практики.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника: **профессиональных**: - ПК-1.2; ПК-3.1; 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: *тестирование, письменные контрольные работы* и промежуточный контроль в форме *зачета*.

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

Очная форма обучения

Семестр	Учебные занятия							СРС, в том числе экзамен	Форма промежуточной аттестации (зачет, диф.зачет, экзамен)
	в том числе								
	Всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем							
		Всего	из них						
	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	КСР	консультации				
9	72	14	4	-	10	-		58	Зачет

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является рассмотрение проблем и возможностей использования кремния для создания устройств и приборов нанoeлектроники и нанoфотоники, а также перспективных технологических возможностей формирования наноразмерных кремниевых структур.

Основные разделы программы курса: Низкоразмерные кремниевые среды. 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 в структуре ОПОП магистратуры

Дисциплина «Кремний – материал нанoeлектроники» входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений ОПОП магистратуры по направлению подготовки **11.04.04 – Электроника и нанoeлектроника**.

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.

Результаты освоения дисциплины могут быть использованы и пригодятся при освоении таких дисциплин как «Нанотехнологии в электронике», «Современные методы диагностики материалов электронной техники», «Полупроводниковая оптоэлектроника» и т.д.

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

<i>Код компетенции из ОПОП</i>	<i>Код и наименование индикатора достижения компетенций</i>	<i>Планируемые результаты обучения</i>	<i>Процедура освоения</i>
ПК-1. Способен разработать и внедрить современные технологические процессы и программы выпуска изделий микро- и нанoeлектроники	ПК-1.2. Способен организовать и проводить экспериментальные работы по отработке и внедрению новых материалов, технологических процессов и оборудования производства изделий	Знает: - базовые технологические процессы и оборудование производства изделий микро- и нанoeлектроники. - передовые технологические процессы и оборудование; - современные материалы, используемые в производстве изделий микро- и нанoeлектроники. - типовые тестовые структуры для анализа технологических процессов и	Устный опрос

	<p>микро- наноэлектроники.</p> <p>и</p>	<p>тестирования оборудования;</p> <ul style="list-style-type: none"> - порядок и методы проведения патентных исследований; - основы изобретательства; - методы математической статистики; - основы планирования эксперимента; - материалы микроэлектронной промышленности; - теория риск-менеджмента. Умеет: - анализировать передовые разработки в области оборудования и технологий; - осуществлять патентные исследования; - формировать конкурсные заявки на проведение НИОКР и ОКР; - планировать экспериментальные работы; - разрабатывать тестовые структуры для оценки качества выполнения технологических операций и контроля параметров используемого оборудования; - определять экономическую целесообразность внедрений нового технологического оборудования и технологий; - оценивать риски внедрения нового оборудования и процесса; - работать с контрольно-измерительным оборудованием; - осуществлять контроль и проводить измерения выходных параметров изделий на каждом технологическом этапе; - проводить анализ и определять причины отклонения параметров - работать со статистическими данными; - осуществлять технологический надзор; - работать с конструкторской, технологической и другими видами нормативной документации. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками анализа передовых разработок в области технологий и оборудования для производства изделий микроэлектроники; - навыками проведения патентных исследований и определения показателей технического уровня внедряемых технологий и оборудования; - навыками подготовки технической и технологической информации для патентных и лицензионных паспортов, заявок на изобретения и промышленные образцы; - навыками формирования конкурсных заявок на проведение научноисследовательских и опытноконструкторских работ (НИОКР) и опытно-конструкторских работ (ОКР) ; - навыками разработки планов проведения экспериментальных работ; - опытом проводить назначение и инструктаж исполнителей экспериментальных работ; - навыками формирования заявок на приобретение материалов и 	<p>Устный опрос письменный опрос</p>
--	---	---	--

		<p>комплектующих;</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками разработки методик и средств оценки качества выполнения технологических операций и контроля параметров используемого оборудования; - навыками проведения техникоэкономического обоснования внедрения нового технологического оборудования и технологий; - 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 составления заключения о целесообразности внедрения новых технологических процессов и оборудования на основании экспериментальных данных; - навыками изучения периодических изданий по технологии производства изделий микроэлектроники; - опытом посещения профильных выставок оборудования, технологических семинаров и конференций 	
<p>ПК-3. Способен руководить подразделениями по измерениям параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур</p>	<p>ПК-3.1. Способен организовать и контролировать процессы измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - планировать экспериментальные работы и контролировать процесс их проведения; - работать на контрольноизмерительном 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. 	<p>Устный опрос, письменный опрос</p>

		<ul style="list-style-type: none"> - 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. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками планирования и проведения экспериментальных работ; - навыками проведения контрольноизмерительных 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 	
<p>ПК-3. Способен руководить подразделениями по измерениям параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур</p>	<p>ПК-3.2. Способен согласовать и утверждать технические задания на модернизацию и внедрение новых методов и оборудования для измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> - углубленные знания о структуре, физико-химических свойствах, конструкции и назначении модифицируемых наноматериалов и наноструктур; - 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. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - оценивать технические и экономические риски при выборе методов и оборудования для измерения параметров 	<p>Мини - конференция</p>

		<p>и модификации свойств наноматериалов и наноструктур;</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками анализа планов перспективного развития предприятия в области измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; - навыками оценки рисков внедрения новых методов и оборудования измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; - 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. 	
--	--	--	--

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	Практические занятия	Лабораторные	Контроль самост.		
Модуль 1.									
1.	Низкоразмерные кремниевые среды.	9		2				10	(ДЗ), (С)
2.	Кремниевая одноэлектроника.	9			2			10	(ДЗ), (С)

3.	Оптические и фотоэлектрические свойства квантово – размерных структур Si - Ge.	9		2			10	(ДЗ), (С), (КСР)
	Итого по модулю 1:			2	4		30	
Модуль 2								
4.	Методы получения самоорганизованных Si - Ge наноструктур	9		2			10	(ДЗ), (С)
5.	Квантовые точки из монокристаллического Si, сформированные ионной имплантацией в пленках SiO ₂ .	9	2	2			10	(ДЗ), (С)
6.	Перспективы кремниевой электроники.	9		2			8	(ДЗ), (С), (КСР)
	Итого по модулю 2:			2	6		28	
	ИТОГО: 72			4	10		58	

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

Тема 3. Оптические и фотоэлектрические свойства квантово – размерных структур Si - Ge. Фотолминесценция структур Si – Ge, полученных молекулярно – лучевой эпитаксией. Si - Ge структуры с квантовыми точками и субмонослойными включениями. Радиационная стойкость кристаллов с квантовыми точками.

Модуль 2

Тема 4. Методы получения самоорганизованных Si - Ge наноструктур.

Фундаментальные предпосылки. Рост и особенности упорядочения ансамблей нанокластеров Ge. Особенности создания гетероструктур Si – Ge методом молекулярно – лучевой эпитаксией. Искусственные подложки. Свойства самоорганизованных наноструктур Si – Ge, полученных методами ионной имплантации. Получение самоорганизованных наноструктур Si – Ge методом термического испарения.

Тема 5. Квантовые точки из монокристаллического Si, сформированные ионной имплантацией в пленках SiO₂. Нанокристаллы Si и Ge 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.

Тема 6. Перспективы кремниевой электроники. Структуры «кремний – на - изоляторе» (КНИ) и их преимущества. Технология изготовления структур КНИ. Структуры КНС, их преимущества и перспективы применения.

4.3.1. Содержание лекционных занятий

модуль	Содержание темы
1.	<u>Лекция 1.</u> Низкоразмерные кремниевые среды.
2.	<u>Лекция 2.</u> Квантовые точки из монокристаллического Si, сформированные ионной имплантацией в пленках SiO ₂ .

4.3.2. Темы семинарских и практических занятий

Модуль 1.

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.

Модуль 2.

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.

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 согласует 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 **Power Point**, 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.

Тематика для самостоятельной работы

1. Перспективы кремниевой наноэлектроники.
2. Физические свойства кремния
3. Приборные структуры одноэлектроники
4. Кремниевые нанотрубки на основе хризотил-асбеста
5. Методы производства КНИ-структур
6. КНИ-структуры в технологии СБИС
7. КНИ-структуры в технологии нанотранзисторов
8. КНИ-структуры в экстремальной электронике
9. Высокочастотные приборы на КНИ-структурах
10. Оптоэлектронные ключи, актюаторы и сенсоры на КНИ-структурах
11. КНИ-структуры для систем-на-чипе.
12. Оптические приборы на пористом кремнии.

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.

Тематика рефератов

1. Фуллерены в электронике и наноэлектронике.
2. Углеродные нанотрубки в электронике.
3. Создание гетеропереходов на основе углеродных нанотрубок.
4. Углеродные нанотрубки как зонды для сканирующих силовых микроскопов.
5. Применение углеродных нанотрубок в технологии полупроводниковых приборов.
6. Композиты полимер – углеродные трубки.
7. Методы получения аморфных металлических сплавов.
8. Области применения гибридных нанокомпозитов.
9. Аморфные металлические сплавы.
10. Аморфные углеродные материалы.
11. Ленгмюровские пленки – резистивный материал для нанолитографии.
12. Наноструктурированные многослойные материалы.
13. Нанопористые материалы.
14. Цеолиты – нанопористый материал.
15. Кристаллы из металлических наночастиц.

16. Нанокристаллические материалы для магнитной записи.
17. Наноструктурированные материалы для фотоники.
18. Металлические нанокластеры в оптических стеклах.
19. Полупроводниковые сверхрешетки.
20. Нанокристаллические ферромагнетики.
21. Нанокристаллические покрытия в промышленности.
22. Применение наноструктур для создания элементов приборных структур.
23. Нанокерамические покрытия.
24. Методы структурного и химического анализа наноматериалов.
25. Получение гибридных нанокерамических золь – гель методом.

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) ООП (тематика докладов, рефератов и т.п.), а также для проведения промежуточной аттестации по дисциплинам (модулям) ООП (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.

7.3. 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 Smart Cut?
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 Smart Cut)
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 – n 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 Smart Cut?
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)?

7.4. 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»-балльную 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.

Электронно-библиотечная система (ЭБС) IPRbooks (www.iprbookshop.ru).
Лицензионный договор № 6984/20 на электронно-библиотечную систему IPRbooks от 02.10.2020 г.

Основная литература:

1. Герасименко Н.Н., Пархоменко Ю.Н. Кремний - материал нанoeлектроники – М.: Техносфера, 2007, - 352 С.
2. Зебрев Г.И. Физические основы кремниевой электроники. - М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2012, - 240 С.
3. Шелованова Г. Н. Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники: Курс лекций. – Красноярск: ИПК СФУ, 2009. – 220 С.

4. Шелованова, Г. Н. Современные проблемы электроники: кремниевая электроника : учеб. пособие / Г. Н. Шелованова. – Красноярск: ИПЦ КГТУ. – 2006. – 178 С.

Дополнительная литература

1. Данилина Т.И., Кагадей В.А., Анищенко Е.В. Технология кремниевой наноэлектроники: Учебное пособие. – Томск: В-Спектр, 2011. – 263 С.
2. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. – М.: Изд -во Техносфера, 2005. – 336 С.
3. Андриевский Р. А. Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы/ Р. А. Андриевский. М.: Лаборатория знаний, 2017.- 255 С.
4. Зимин С. П. Пористый кремний – материал с новыми свойствами // Соросовский образовательный журнал. – 2004. – Т.8 (№ 1) – С. 101–107.
5. Мильвидский М. Г. Полупроводниковый кремний на пороге XXI века// Материалы электронной техники. – 2000. – № 3. – С. 4–14.
6. Борисенко В. Е. Наноэлектроника: теория и практика: учебник / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, А. Л. Данилюк, Е. А. Уткина. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013, 366 С.

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 по направлению **11.04.03. Электроника и наноэлектроника.:**

Интернет ресурсы:

1. Электронно-библиотечная система (ЭБС) IPRbooks (www.iprbookshop.ru). Лицензионный договор № 6984/20 на электронно-библиотечную систему IPRbooks от 02.10.2020 г.
2. Лицензионное соглашение № 6984/20 на использование адаптированных технологий ЭБС IPRbooks (www.iprbookshop.ru) для лиц с ОВЗ от 02.10.2020.
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» www.biblioclub.ru. Договор об оказании информационных услуг № 131-09/2010 от 01.10.2020г. 537наименований.
4. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЛАНЬ <https://e.lanbook.com/>. Договор №СЭБ НВ-278 на электронно-библиотечную систему ЛАНЬ от 20.10.2020 г. Срок действия договора со 20.10.2020 г. по 31.12.2023г.
5. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>. Лицензионное соглашение № 844 от 01.08.2014 г. Срок действия соглашения с 01.08.2014 г. без ограничения срока.
6. Национальная электронная библиотека №101/НЭБ/101/НЭБ/1597 о предоставлении доступа к Национальной электронной библиотеке от 1

августа 2016 г. Срок действия договора с 01.08.2016 г. без ограничения срока.

7. Scopus издательства Elsevier B.V. Письмо РФФИ от 19.10.2020 г. № 1189 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию базы данных Scopus издательства Elsevier B.V. в 2022 г. <https://www.scopus.com>
8. Международное издательство Springer Nature. Коллекция журналов, книг и баз данных издательства Springer Nature. Письмо РФФИ от 17.07.2020 г. № 743 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных издательства Springer Nature в 2022 г. на условиях национальной подписки <https://link.springer.com/>
9. Журналы Royal Society of Chemistry. База данных RSC DATABASE издательства Royal Society of Chemistry Письмо РФФИ от 20.10.2020 г. № 1196 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных Royal Society of Chemistry в 2022 г. <http://pubs.rsc.org/>
10. 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>.
11. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru>.
12. Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета <http://edu.icc.dgu.ru>

1. 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	Организация деятельности студента
-------------	-----------------------------------

занятий	
<i>Лекция</i>	<i>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.</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.

12. Описание материально-технической базы, необходимой для

осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Материально – техническая база кафедры экспериментальной физики, которая осуществляет подготовку по направлению 11.03.04 «**Электроника и наноэлектроника**», позволяет готовить 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.