

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол № 4 от 26.04.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

28.04.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника

Направленность образовательной программы

Квантовые и нейроморфные технологии

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.01 Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники относится к обязательной части образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ОПК-1: Способен ставить и решать инженерные и научно-технические задачи в области нанотехнологий и микросистемной техники и новых междисциплинарных направлений на основе естественнонаучных и математических моделей	ОПК-1.1: Имеет представления о методах решения инженерных и научно-технических задач в области нанотехнологий и микросистемной техники и новых междисциплинарных направлениях на основе естественнонаучных и математических моделей ОПК-1.2: Может ставить и решать инженерные и научно-технические задачи в области нанотехнологий и микросистемной техники и новых междисциплинарных направлениях на основе естественнонаучных и математических моделей ОПК-1.3: Демонстрирует навыки постановки и решения инженерных и научно-технических задач в области нанотехнологий и микросистемной техники и новых междисциплинарных направлениях на основе естественнонаучных и математических моделей	ОПК-1.1: Знать методы решения инженерных задач в области нанотехнологий и микросистемной техники на основе естественнонаучных и математических моделей. Уметь ставить и решать инженерные задачи в области нанотехнологий и микросистемной техники на основе естественнонаучных и математических моделей. Владеть навыками постановки и решения научно-технических задач в области нанотехнологий и микросистемной техники на основе естественнонаучных и математических моделей. ОПК-1.2: Знать методы решения научно-технических задач в области нанотехнологий и микросистемной техники на основе естественнонаучных и математических моделей. Уметь ставить и решать научно-технические задачи в области нанотехнологий и микросистемной техники на основе естественнонаучных и	Отчет по лабораторным работам	Экзамен: Контрольные вопросы

		<p>математических моделей.</p> <p>Владеть навыками постановки и решения научно-технических задач в области нанотехнологий и микросистемной техники на основе естественнонаучных и математических моделей.</p> <p>ОПК-1.3: Знать методы решения инженерных и научно-технических задач в новых междисциплинарных направлениях на основе естественнонаучных и математических моделей.</p> <p>Уметь ставить и решать инженерные и научно-технические задачи в новых междисциплинарных направлениях на основе естественнонаучных и математических моделей.</p> <p>Владеть навыками постановки и решения инженерных и научно-технических задач в новых междисциплинарных направлениях на основе естественнонаучных и математических моделей.</p>		
ОПК-4: Способен выполнять исследования при решении инженерных и научно-технических задач, включая планирование и постановку сложного эксперимента, критическую оценку и интерпретацию результатов	<p>ОПК-4.1: Имеет представление о методах исследований при решении инженерных и научно-технических задач, включая планирование и постановку сложного эксперимента, критическую оценку и интерпретацию результатов</p> <p>ОПК-4.2: Выполняет элементы планирования и проведения сложного эксперимента, критическую оценку и интерпретацию результатов</p> <p>ОПК-4.3: Проводит</p>	<p>ОПК-4.1: Знать методы исследований при решении инженерных и научно-технических задач, включая планирование сложного эксперимента.</p> <p>Уметь выполнять исследования при решении инженерных и научно-технических задач, включая планирование сложного эксперимента.</p> <p>Владеть навыками исследований при решении инженерных и научно-</p>	Тест	Экзамен: Контрольные вопросы

	<p>исследования при решении инженерных и научно-технических задач, включая планирование и постановку сложного эксперимента, критическую оценку и интерпретацию результатов</p>	<p>технических задач, включая планирование сложного эксперимента.</p> <p>ОПК-4.2: Знать методы исследований при решении инженерных и научно-технических задач, включая постановку сложного эксперимента.</p> <p>Уметь выполнять исследования при решении инженерных и научно-технических задач, включая постановку сложного эксперимента.</p> <p>Владеть навыками исследований при решении инженерных и научно-технических задач, включая постановку сложного эксперимента.</p> <p>ОПК-4.3: Знать методы исследований при решении инженерных и научно-технических задач, включая критическую оценку и интерпретацию результатов сложного эксперимента.</p> <p>Уметь выполнять исследования при решении инженерных и научно-технических задач, включая критическую оценку и интерпретацию результатов сложного эксперимента.</p> <p>Владеть навыками исследований при решении инженерных и научно-технических задач, включая критическую оценку и интерпретацию результатов сложного эксперимента.</p>		
--	--	---	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	4
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	2
самостоятельная работа	58
Промежуточная аттестация	36 Экзамен

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора- торные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
1. Введение. Кремний – основа электроники и нанoeлектроники.	14	4		4	10
2. Методы получения тонких плёнок и слоёв кремния.	18	2	8	10	8
3. Структура кремния.	18	2	8	10	8
4. Структура, свойства, получение, применение плёнок и слоёв кремния.	18	2	8	10	8
5. КНИ-технология как основа интегральной микроэлектроники.	18	2	8	10	8
6. Технология КНС как разновидность КНИ-технологии.	10	2		2	8
7. Эволюция интегральных схем. Закон Мура.	10	2		2	8
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	144	16	32	50	58

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение. Кремний – основа электроники и нанoeлектроники.
Основные этапы производства кремния. Получение технического кремния. Получение полупроводникового кремния. Метод водородного восстановления трихлорсилана. Очистка трихлорсилана. Восстановление очищенного трихлорсилана. Получение поликристаллических стержней кремния из моносилана SiH₄. Производство монокристаллов кремния. Оборудование для выращивания

слитков. Метод Чохральского. Легирование монокристаллов кремния. Обработка слитков. Метод бестигельной зонной плавки. Дефекты монокристаллического кремния. Основные фоновые примеси. Производство кремния в России и за рубежом. Этапы кремниевой технологии.

2. Методы получения тонких плёнок и слоёв кремния.

Газофазная эпитаксия кремния. Установка Эпиквар. Молекулярнолучевое осаждение и эпитаксия кремния. Установка сублимационной эпитаксии кремния. Структурные модификации кремния (a-Si, nc-Si, por-Si, mc-Si, poly-Si, c-Si). Плазмохимическое ВЧ-разложение силана.

3. Структура кремния.

Структура атома: заполнение электронных оболочек и гибридизация валентных состояний.

Структурный тип алмаза. Пространственная и точечная симметрия. Описание структурного типа в терминах плотнейшей упаковки. Структура поверхности кремния. Реконструкция и методы её наблюдения. Типы поверхностной реконструкции кремния. Примеси на поверхности кремния.

4. Структура, свойства, получение, применение плёнок и слоёв кремния.

Плёнки поликристаллического кремния. Плёнки микрокристаллического кремния. Плёнки аморфного кремния. Пористый кремний.

5. КНИ-технология как основа интегральной микроэлектроники.

Принцип работы кремниевого МОП-транзистора. Комплиментарная пара МОП-транзисторов в планарном исполнении на объёмном кремнии и на структуре КНИ. Разновидности технологии «кремний на изоляторе». Диэлектрическая изоляция (DI) кремния. Структуры «кремний на сапфире» как разновидность КНИ-структур. Технологии SIMOX, BESOI, UNIBOND™, SmartCut™, ELTRAN.

6. Технология КНС как разновидность КНИ-технологии.

Структурные аспекты проблемы КНС (кремний на сапфире). Микродвойники и дефекты упаковки на гетерогранице. Автолегирование алюминием. Термонапряжения. Газофазная гетероэпитаксия кремния на сапфир. Установка Эпиквар. Недостатки метода газофазного осаждения. Ультратонкий кремний на сапфире - UTSi®. Применение метода ионной имплантации и твердофазной рекристаллизации для снижения дефектности КНС-структур. Молекулярно-лучевая гетероэпитаксия КНС. Пути развития КМОП КНС-технологии.

7. Эволюция интегральных схем. Закон Мура.

Размер транзисторов. Длина канала. Степень интеграции. Производительность. Размер пластин. Полевой нанотранзистор поколения 10 нм: основные черты. Развитие нанолитографии. Экстремальный ультрафиолет. Напряжённый кремний. Технология создания одноосного и двухосного напряжения в канале. Диэлектрики с большой диэлектрической проницаемостью (high-k). Многоуровневая металлизация. Диэлектрики с малой диэлектрической проницаемостью (low-k). Пути развития кремниевой КМОП-технологии.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

1. Рассеяние ускоренных электронов на атомной структуре : практикум / А. А. Сушков, Д. А. Павлов ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2020. - 56 с. - Текст : электронный.

<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/Download/MObject/190>

2. Получение многослойных оптических покрытий методом электронно-лучевого испарения. Лабораторный практикум для магистров : учебно-методическое пособие / А. В. Ершов, А. И. Машин ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского, Физический факультет, Кафедра физики

полупроводников и оптоэлектроники. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2007. - 36 с. - Текст : электронный.

<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/Download/MObject/1925>

3. Измерение энергетических параметров излучения полупроводниковых лазерных диодов с помощью измерителя Lab Max-Top : учебно-методическое пособие / Н. В. Дикарева, М. В. Карзанова, С. М. Некоркин ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2012. - 37 с. - Текст : электронный.

<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/Download/MObject/2755>

4. Ионное легирование кремния : практикум / В. В. Карзанов, Д. С. Королев ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2013. - 21 с. - Текст : электронный.

<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/Download/MObject/2537>

5. Физические основы ионно-лучевого формирования и свойства квантовых точек кремния в диэлектрике : учебно-методическое пособие / А. Н. Михайлов, А. И. Белов, М. О. Марычев [и др.] ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2010. - 44 с. - Текст : электронный.

<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/Download/MObject/10800>

6. Метод сублимационной молекулярно-лучевой эпитаксии кремния с газовым источником германия : практикум / С. А. Денисов, В. Г. Шенгуров, В. Ю. Чалков ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2015. - 13 с. - Текст : электронный.

<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/Download/MObject/2234>

7. Исследование поверхности твердых тел методом сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) : описание лабораторной работы / Д. О. Филатов, А. В. Круглов ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2001. - 22 с. - Текст : электронный.

<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/Download/MObject/1876>

8. Получение первого изображения на сканирующем зондовом микроскопе ntegra academia. обработка и представление результатов эксперимента: описание лабораторной работы / Круглов А. В. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2022. - 40 с. - Текст : электронный.

<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/Download/MObject/2303>

9. Артефакты в сканирующей зондовой микроскопии: Описание лабораторной работы / Круглов А. В. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2022. - 32 с. - Текст : электронный.

<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/Download/MObject/2301>

10. Сканирующая зондовая литография: Описание лабораторной работы / Круглов А. В. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2022. - 20 с. - Текст : электронный.

<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/Download/MObject/2304>

11. Рентгеновский фазовый анализ поликристаллических материалов : учебно-методическое

пособие / В. Н. Трушин, П. В. Андреев, М. А. Фаддеев ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2012. - 89 с. - Текст : электронный.
<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/Download/MObject/2695>

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:

Из общего перечня необходимо выбрать четыре работы.

Типовые лабораторные работы

1. Получение многослойных оптических покрытий методом электронно-лучевого испарения.

Описание лабораторной работы приведено в методических материалах к дисциплине:

Получение многослойных оптических покрытий методом электронно-лучевого испарения. Лабораторный практикум для магистров : учебно-методическое пособие / А. В. Ершов, А. И. Машин ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского, Физический факультет, Кафедра физики полупроводников и оптоэлектроники. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2007. - 36 с. - Текст : электронный.

2. Измерение энергетических параметров излучения полупроводниковых лазерных диодов с помощью измерителя Lab Max-Tor.

Описание лабораторной работы приведено в методических материалах к дисциплине:

Измерение энергетических параметров излучения полупроводниковых лазерных диодов с помощью измерителя Lab Max-Tor : учебно-методическое пособие / Н. В. Дикарева, М. В. Карзанова, С. М. Некоркин ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2012. - 37 с. - Текст : электронный.

3. Ионное легирование кремния.

Описание лабораторной работы приведено в методических материалах к дисциплине:

Ионное легирование кремния : практикум / В. В. Карзанов, Д. С. Королев ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2013. - 21 с. - Текст : электронный.

4. Фотолюминесценция слоев диоксида кремния с ионно-синтезированными нанокристаллами кремния.

Описание лабораторной работы приведено в методических материалах к дисциплине:

Физические основы ионно-лучевого формирования и свойства квантовых точек кремния в диэлектрике : учебно-методическое пособие / А. Н. Михайлов, А. И. Белов, М. О. Марычев [и др.] ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2010. - 44 с. - Текст : электронный.

5. Метод сублимационной молекулярно-лучевой эпитаксии кремния с газовым источником германия.

Описание лабораторной работы приведено в методических материалах к дисциплине:

Метод сублимационной молекулярно-лучевой эпитаксии кремния с газовым источником германия : практикум / С. А. Денисов, В. Г. Шенгуров, В. Ю. Чалков ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2015. - 13 с. - Текст : электронный.

6. Исследование поверхности твердых тел методом сканирующей туннельной микроскопии.

Описание лабораторной работы приведено в методических материалах к дисциплине:

Исследование поверхности твердых тел методом сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) : описание лабораторной работы / Д. О. Филатов, А. В. Круглов ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2001. - 22 с. - Текст : электронный.

Прежде чем приступать к лабораторной работе, обучающийся сдает преподавателю допуск к лабораторной работе. Вопросы допуска к лабораторным работам приведены в соответствующих методических материалах.

По результатам выполнения лабораторной работы обучающийся обязан написать отчет. Отчет должен включать следующие обязательные элементы: содержание, цель работы, теоретическая часть, методика эксперимента, экспериментальную часть, включающую описание и обсуждение результатов, заключение и/или выводы, список использованных источников. Отчет не должен содержать неправомерных заимствований.

Объем отчета – 15-30 стр. формата А4 (шрифт Times New Roman 12 пт, межстрочный интервал – полуторный, интервал между абзацами – отсутствует, поля – верхнее 2 см, нижнее 2 см, левое 3 см, правое 1,5 см).

После выполнения четырех лабораторных работ лектору сдается план-отчет лабораторного практикума.

План-отчет лабораторного практикума
магистранта 1-го курса

(Ф.И.О.)

№	Название работы	Отметка руководителя о выполнении
1		
2		
3		
4		

Магистрант _____
подпись И.О. ФАМИЛИЯ

Научный руководитель, _____
уч. степень, должность подпись И.О. ФАМИЛИЯ

Критерии оценивания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Содержание отчета удовлетворяет требованиям. По итогам проверки отчётов о выполнении работ заполняется контрольный лист, в котором преподаватели, проводившие лабораторные занятия выставляют отметку о выполнении.
не зачтено	Содержание отчета не удовлетворяет требованиям. Обучающийся показывает неудовлетворительные знания. Необходимы дополнительная подготовка и исправления в отчете.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ОПК-4:

Вопрос 1.

Комплементарная пара МОП-транзисторов это ...

Варианты ответа:

1. ... два транзистора, одинаковые по абсолютным значениям параметров, но имеющие разные типы проводимостей.

2. ... два транзистора, разные по абсолютным значениям параметров, но имеющие одинаковые типы проводимостей.
3. ... два транзистора, разные по абсолютным значениям параметров и имеющие разные типы проводимостей.
4. ... два транзистора, одинаковые по абсолютным значениям параметров и имеющие одинаковые типы проводимостей.

Вопрос 2.

Оборудование для ... эпитаксии является наиболее производительным.

Варианты ответа:

1. ... жидкофазной
2. ... молекулярно-лучевой
3. ... газофазной
4. ... сублимационной

Вопрос 3.

Наиболее качественные слои в КНС получают на ... сапфира.

Варианты ответа:

1. ... С-срезе
2. ... R-срезе
3. ... X-срезе
4. ... Т-срезе

Вопрос 4.

К одномерным дефектам слитков кремния относятся ...

Варианты ответа:

1. ... дислокации
2. ... поверхность

3. ... микродвойники
4. ... примесный атом

Вопрос 5.

К разновидностям КНИ-технологии не относится ...

Варианты ответа:

1. ... UNIBONDTM-процесс
2. ... SmartCutTM-процесс
3. ... ELTRAN-процесс
4. ... ELTAB-процесс

Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Не менее 60% правильных ответов на вопросы из теста
не зачтено	Менее 60% правильных ответов на вопросы из теста

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	отказа обучающегося от ответа		ошибок	несколько негрубых ошибок	несколько несущественных ошибок	нет.	
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

1. Кремний. Основные этапы производства кремния. Получение технического кремния.
2. Получение полупроводникового кремния. Метод водородного восстановления трихлорсилана. Очистка трихлорсилана. Восстановление очищенного трихлорсилана.
3. Получение поликристаллических стержней кремния из моносилана SiH₄.
4. Производство монокристаллов кремния. Оборудование для выращивания слитков. Метод Чохральского.
5. Легирование монокристаллов кремния. Обработка слитков.
6. Метод бестигельной зонной плавки.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ОПК-4

1. Принцип работы кремниевого МОП-транзистора. Комплементарная пара МОП-транзисторов в планарном исполнении на объёмном кремнии и на структуре КНИ.
2. Разновидности технологии «кремний на изоляторе».
3. Диэлектрическая изоляция (DI) кремния.
4. Структуры «кремний на сапфире» как разновидность КНИ-структур.
5. SIMOX-технология как разновидность КНИ-технологии.
6. BESOI-технология как разновидность КНИ-технологии.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Отличная подготовка. Обучающийся отвечает полностью на вопросы билета и дополнительные вопросы (задания), выходящие за рамки изученного объема курса и изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление.
отлично	Отличная подготовка. Обучающийся отвечает полностью на вопросы билета в рамках изученных алгоритмов и подходов. При ответе на дополнительные вопросы допускаются незначительные неточности.
очень хорошо	Хорошая подготовка. Обучающийся показывает средний уровень знания вопросов билета и отвечает на некоторые дополнительные вопросы

Оценка	Критерии оценивания
	преподавателя (в рамках билета).
хорошо	Удовлетворительная подготовка. Обучающийся показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий отвечая с наводящими вопросами преподавателя.
удовлетворительно	Удовлетворительная подготовка. Обучающийся показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий отвечая с наводящими вопросами преподавателя.
неудовлетворительно	Обучающийся показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.
плохо	Обучающийся не показал никаких знаний.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Щука А. А. Нанoeлектроника : учебник / А. А. Щука ; под общей редакцией А. С. Сигова. - Москва : Юрайт, 2023. - 297 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-9916-8280-0. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=847604&idb=0>.
2. Драгунов В. П. Нанoeлектроника в 2 ч. Часть 2 : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - 3-е изд. ; испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2023. - 235 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-534-05171-1. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=839474&idb=0>.
3. Исакова И. В. Наноматериалы и нанотехнологии : учебное пособие по дисциплине «наноматериалы и нанотехнологии» для обучающихся по направлению 18.04.01 «химическая технология» / Исакова И. В., Черкасова Е. В. - Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2019. - 68 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева - Нанотехнологии. - ISBN 978-5-00137-058-1., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=721532&idb=0>.
4. Драгунов Валерий Павлович. Нанoeлектроника в 2 ч. Часть 1 : Учебное пособие для вузов / Драгунов В. П., Неизвестный И. Г., Гридчин В. А. - 3-е изд. - Москва : Юрайт, 2020. - 285 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-534-05170-4 : 699.00. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=592365&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. / Гусев А.И. - Москва : Физматлит, 2009., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=634721&idb=0>.

2. Денисов Сергей Александрович. Метод сублимационной молекулярно-лучевой эпитаксии кремния с газовым источником германия : практикум / С. А. Денисов, В. Г. Шенгуров, В. Ю. Чалков ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2015. - 13 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=850270&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

- 1) Интернет-ресурс справочной и математической литературы со свободным доступом www.eqworld.ipmnet.ru;
- 2) интернет-ресурсы Фундаментальной библиотеки ННГУ <http://www.lib.unn.ru/>.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: лабораторным оборудованием ННГУ.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 28.04.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника.

Автор(ы): Павлов Дмитрий Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор.

Рецензент(ы): Конаков Антон Алексеевич, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Павлов Дмитрий Алексеевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 15.04.2024, протокол № б/н.