

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 № 6 от 31.05.2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Физико-химические основы технологии микро-и наноструктур

---

Уровень высшего образования  
Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность  
11.03.04 - Электроника и нанoeлектроника

---

Направленность образовательной программы  
Радиофотоника и оптоэлектроника

---

Форма обучения  
очная

---

г. Нижний Новгород

2021 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.18 Физико-химические основы технологии микро-и наноструктур 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-6 ОС ВО ННГУ: Способность применять фундаментальные знания о физических свойствах систем с пониженной размерностью и учитывать современные тенденции развития нанотехнологий в своей профессиональной деятельности	ОПК-6 ОС ВО ННГУ.1: Знает фундаментальные основы нанотехнологий, физические свойства систем с пониженной размерностью. ОПК-6 ОС ВО ННГУ.2: Знает современные тенденции развития нанотехнологий в своей профессиональной деятельности ОПК-6 ОС ВО ННГУ.3: Умеет применять знания об основах нанотехнологий и физических свойствах систем с пониженной размерностью в своей профессиональной деятельности	ОПК-6 ОС ВО ННГУ.1: Знать: общие принципы, атрибуты и технологические циклы технологии полупроводниковых приборов; физико-химические принципы разделения и очистки материалов; сущность теории химического и электрохимического травления полупроводников; процессы моно- и гетероэпитаксиального наращивания полупроводниковых слоев и методы эпитаксиального выращивания; физико-химические закономерности формирования слоев SiO <sub>2</sub> термическим окислением и сущность методов осаждения защитных диэлектрических слоев; □ основы литографических процессов, процессов диффузионного и ионно-лучевого легирования полупроводников и диэлектриков, используемых в технологии микро- и наноструктур; физико-химические основы проведения процессов формирования контактов и	Допуск к лабораторной работе Задачи Отчет по лабораторным работам Тест	Экзамен: Контрольные вопросы

		<p>выводов полупроводниковых микро- и наноструктур; основные принципы создания активных и пассивных элементов оптоэлектроники.</p> <p>ОПК-6 ОС ВО ННГУ.2: Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> объяснить сущность физических и химических явлений во всех этапах изготовления полупроводникового прибора по типовому технологическому процессу;</li> <li><input type="checkbox"/> производить анализ и делать количественные оценки параметров процессов термического окисления кремния, диффузионного и ионно-лучевого легирования полупроводников, напыления тонких пленок физическими и физико-химическими методами;</li> <li><input type="checkbox"/> экспериментально определять параметры проведения основных технологических процессов;</li> </ul> <p>изучать оригинальные научные статьи и обзоры в области технологии микро- и наноструктур.</p> <p>ОПК-6 ОС ВО ННГУ.3: Иметь навыки использования полученных знаний для решения конкретных задач применения современных технических средств и технологий создания приборов микро- и наноэлектроники.</p>		
--	--	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>4</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>144</b>
в том числе	

<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>32</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>48</b>
- КСР	<b>2</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>26</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>36</b> <b>экзамен</b>

### 3.2. Содержание дисциплины

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

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Тема 1 Введение. Актуальность и тенденции развития технологии микро- и нанoeлектроники. Общие принципы планарной технологии полупроводниковых приборов. 1. Введение. Актуальность и тенденции развития технологии микро- и нанoeлектроники. Атрибутивные признаки и общие принципы планарной технологии приборов микро- и нанoeлектроники. Типовой планарный процесс. Типовые n-МОП- и КМОП-процессы. Общие подходы и особенности принципов технологии активных и пассивных элементов микро-, nano- и оптоэлектроники.	3	2	2	1	
Основные физико-химические методы получения материалов. Основы процессов разделения и очистки. Механическая и химическая обработка. 2. Физико-химические методы получения полупроводниковых материалов. Чистые вещества. Физические методы разделения и очистки. Элементы теории роста кристаллов. Кристаллизационные методы очистки. Распределение примесей при направленной кристаллизации. Механическая и химическая обработка полупроводниковых материалов. Физические основы механизма разрушения материалов при механической обработке	5	4	4	1	
Технология получения эпитаксиальных слоев. 3. Гомо- и гетероэпитаксия. Методы эпитаксиального наращивания. Физико-химические процессы при эпитаксиальном выращивании газофазными методами. Метод молекулярно-лучевой эпитаксии. Особенности МОС-гидридной эпитаксии. Практическая реализация методов. Условия проведения, связь со свойствами. Дефекты эпитаксиальных слоев.	6	4	4	2	
Основы технологии диэлектрических защитных пленок. 4. Диэлектрические пленки. Физико-химические способы формирования слоев. Механизмы и кинетика термического окисления. Методы химического осаждения из газовой фазы (ХОГФ) нанесения диэлектрических пленок. Вариант атомно-слоевого осаждения. Сравнительные характеристики диэлектрических пленок, полученных разными методами. Свойства и дефектность. Контроль качества слоев.	8	2	4	2	
Физико-химические основы литографии. 5. Литография. Физико-химические основы фотолитографии. Фотохимические процессы в фоторезистах. Резисты. Шаблоны. Контактные и проекционные системы фотолитографии. Электронная, ионная и рентгеновская литография. Экстремальная УФ - литография.	12	4	6	2	
Ионно-плазменное травление органических и неорганических покрытий. 1. Ионно-плазменное травление органических и неорганических слоев и покрытий. Реакционные газы, используемые в плазменном травлении. Ключевые моменты и особенности. Получение нанообъектов ионным травлением.	4	2	2	2	
Основы диффузионного легирования полупроводников и диэлектриков. 7. Группы методов легирования полупроводников и диэлектриков. Диффузия. Механизмы и математическое описание процессов. Распределение примеси. Компенсация примеси. Влияние дефектов. Контроль качества легированных слоев.	12	4	6	2	

Основы легирования методом ионной имплантации. 8. Ионная имплантация. Общие вопросы ионно-лучевого легирования в планарной технологии. Основы теории ионного внедрения. Распределение внедренных ионов. Пробеги и дисперсия пробегов ионов. Эффект каналирования. Радиационные нарушения. Способы отжига легированных структур. Подходы ионно-лучевого легирования для наномасштабирования электронных структур.	8	2	4	6	2
Металлизация. Элементы тонкопленочной технологии. 9. Металлизация. Способы формирования. Требования и свойства металлических слоев. Омические и барьерные контакты и контактные системы. Элементы тонкопленочной технологии	8	2	4	6	2
Основы технологии сборки. Микросварка. Герметизация. 10. Физические процессы при сборке полупроводниковых приборов. Крепление подложек и кристаллов. Методы присоединения выводов. Механизмы формирования физического контакта поверхностей при сварке давлением. Герметизация	10	2	6	8	2
Физико-химические методы формирования наноструктур. 11. Физико-химические методы формирования наноструктур. Физико-химические основы формирования массивов нанокластеров и нанокристаллов полупроводников и металлов в широкозонных матрицах. Физико-химические методы формирования пористого кремния. Влияние технологических условий на свойства нанокремния.	4	2		2	2
Физические процессы в технологии тонких пленок. Вакуумное испарение. 12. Элементы теории испарения. Механизмы испарения. Распределение испаряемых частиц по направлениям. Принципы технологических устройств техники вакуумного испарения. Контроль в технологии тонких пленок.	10	2	6	8	2
Физические процессы в технологии тонких пленок. Методы ионного распыления. 13. Распыление на постоянном и переменном токе. Магнетронное распыление. Реактивное распыление. Методы плазменно-химического осаждения в микро- и нанотехнологии. Другие методы химического осаждения из газовой фазы.	8		6	6	2
Технологические приемы формирования пассивных и активных приборов оптоэлектроники и фотоники. 14. Принципы техпроцессов создания кремниевых фотонных интегральных схем (ФИС). КНИ-техпроцесс для создания гибридных ФИС. Технологические принципы формирования пассивных и активных приборов в фотонных телекоммуникационных системах. Пленочные технологии для создания микрорезонаторов, модуляторов, многослойных интерференционных покрытий интегральной фотоники. Просветляющие, зеркальные покрытия.	8		6	6	2
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	144	32	48	82	26

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

1. Физико-химические основы процесса фотолитографии. Практикум / Сост. Ж.В. Гарусова, В.Е. Котомина, Д.А. Павлов. – Нижний Новгород: ННГУ, 2008. – 24 с.
2. Формирование слоя фоторезиста. Практикум / Сост. Ж.В. Гарусова, Д.А. Павлов. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2008. – 11 с.
3. Определение кинематической вязкости фоторезиста. Практикум / Сост. Ж.В. Гарусова, Д.А. Павлов. – Нижний Новгород: ННГУ, 2008.– 11 с.
4. Доброхотов Э.В., Курильчик Е.В. Фотолитография в планарной технологии – Изд-во ННГУ, Нижний Новгород, 1998. – 14 с
5. Курильчик Е.В. Получение маскирующих покрытий в планарной технологии. Нижний Новгород: Издательство Нижегородского госуниверситета, 2006.-14 с
6. Курильчик Е.В. Легирование полупроводников методом диффузии –, Нижний Новгород, Изд-во ННГУ.- 2006. – 12 с.
7. Ершов А.В., Машин А.И., Жолудев А.А. Легирование полупроводников и диэлектриков методом диффузии. – Нижний Новгород: ННГУ, 1993. – 11 с.
8. Карзанов В.В., Королев Д.С. Ионное легирование кремния –Н. Новгород: Изд-во ННГУ.- 2013. – 20 с.
9. Ершов А.В., Нежданов А.В. НАПЫЛЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК ИСПАРЕНИЕМ В

ВАКУУМЕ: Практикум. Нижний Новгород: Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2023. – 30 с.

10. Доброхотов Э.В., Курильчик Е.В. Создание омических контактов и выводов к кремниевым ИМС и полупроводниковым приборам Н.Новгород: ННГУ, 1988.-18 с.
11. Ершов А.В., Машин А.И., Паршков В.Г. Изготовление выводов в технологии микросхем методом ультразвуковой микросварки. – Н. Новгород: ННГУ, 1993. – 23 с.
12. Просветляющие покрытия в оптоэлектронике. Проектирование, материалы, особенности технологии: Практикум / Составители: А.В. Ершов, А.И. Машин. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2009. – 32 с.
13. Интерференционные многослойные зеркала в оптоэлектронике: Практикум / Составители: А.В. Ершов, И.А. Карабанова. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2009. – 31 с.
14. Задачи синтеза и анализа в проектировании многослойных оптических покрытий: Практикум / Составители: А.И. Машин, А.В. Ершов, Д.А. Грачев. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. – 35 с. – Рег. № 819.14.05 от 03.12.14. – Электронное издание [http://www.unn.ru/books/met\\_files/dif-syn.pdf](http://www.unn.ru/books/met_files/dif-syn.pdf).

## **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 - Допуск к лабораторной работе) для оценки сформированности компетенции ОПК-6 ОС ВО ННГУ**

Типовые вопросы к допускам на примере лабораторной работы «Получение маскирующих покрытий в планарной технологии»:

1. Планарная технология, роль защитных диэлектрических пленок в планарной технологии.
2. Достоинства и недостатки основных методов окисления.
3. Механизмы и кинетика термического окисления.
4. Влияние ориентации полупроводника на скорость окисления.
5. Свойства оксидных пленок.
6. Дефекты, возникающие при окислении.
7. Физико-химические свойства диэлектрических защитных материалов.
8. Пользуясь данными плотности и веса молекул Si и SiO<sub>2</sub>, покажите, что на формирование слоя SiO<sub>2</sub> толщиной D<sub>0</sub> расходуется слой Si толщиной 0.45D<sub>0</sub>. Плотность SiO<sub>2</sub> составляет 2.27 г/см<sup>3</sup>, а плотность Si – 2.33 г/см<sup>3</sup>.
9. Преимущества и недостатки методов нанесения диэлектрических защитных пленок.
10. Физические, физико-химические и химические методы осаждения диэлектрических защитных пленок.
11. Пиролитические методы осаждения SiO<sub>2</sub>. Схемы реализации методов.
12. Параметры, характеризующие качество слоев и пленок маскирующих покрытий. Способы их определения.
13. Способы определения толщины диэлектрических защитных пленок.

#### **Критерии оценивания (оценочное средство - Допуск к лабораторной работе)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	сдан допуск
не зачтено	не сдан допуск

### 5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-6 ОС ВО ННГУ

**Типовые** (для примера б) **задачи для оценки компетенций «ОПК ОС-6»** по дисциплине «Физико-химические основы технологии микро- и наноструктур» (экспресс анализ остаточного уровня освоения компетенции «

**Задача 1.** Записать выражение для коэффициентов диффузии в примесном кремнии и германии с учетом заряженных состояний вакансий в этих полупроводниках

**Задача 2.** Привести выражение для суммарного распределения электрически активных примесей при последовательной, а затем акцепторной примесей в полупроводник р-типа, однородно легированный акцепторной примесью (диффузия осуществляется из постоянного источника)

**Задача 3.** Записать распределение примесей при двухстадийной диффузии в слаболегированный полупроводник (процесс осуществляется из постоянного источника)

**Задача 4.** Для известных значений поверхностной концентрации, глубины залегания р-п перехода, исходной концентрации кремния и времени диффузии определить величину коэффициента бора и фосфора при различных температурах

**Задача 5.** Полагая распределение примеси гауссовым и определив средний проецированный пробег и его дисперсию, оценить глубину р-п перехода, среднюю концентрацию носителей и среднее удельное сопротивление в р-слое на подложке п-кремния. Энергии ионного пучка, дозы внедрения, удельное сопротивление исходного п-кремния варьируется

**Задача 6.** Пользуясь данными плотности и веса молекул Si и SiO<sub>2</sub>, покажите, что на формирование слоя SiO<sub>2</sub> толщиной d<sub>0</sub> расходуется слой толщиной 0,45 d<sub>0</sub>. Плотность SiO<sub>2</sub> составляет 2,27 г/см<sup>3</sup>, а плотность Si-2,33 г/см<sup>3</sup>

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	правильный ход решения задачи
не зачтено	нет понимания хода решения задачи

### 5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ОПК-6 ОС ВО ННГУ

Подготовка и представление **отчета** по результатам выполнения лабораторной работы (практикума). Отчет оформляется по структуре научной статьи и включает подразделы:

введение, цель эксперимента, теоретический раздел, методику эксперимента, результаты и их обсуждение, список литературы

### Критерии оценивания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	сдан отчет
не зачтено	не сдан отчет

#### 5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ОПК-6 ОС ВО ННГУ

Типовые (для примера 6 вопросов) тестовые вопросы по дисциплине «Физико-химические основы технологии микро- и наноструктур» (экспресс анализ *остаточного* уровня освоения компетенции «ОПК ОС-6».

Условные обозначения: Укажите правильные ответы на вопросы, в одном вопросе правильных ответов может быть **несколько**. **Обведите чернилами правильные ответы.**

1. До какого класса чистоты обрабатываются пластины кремния, используемые для формирования на них элементов интегральных микросхем (ИМС)?

- 1 -10
- 2 - 12
- 3 - 14

2. Какому закону подчиняется процесс окисления кремния во влажном кислороде?

- 1 - линейно-параболическому
- 2 - линейному
- 3 – экспоненциальному

3. Какая из примесей акцепторов- элементов III группы периодической системы (бор, алюминий, галлий) используется для создания областей p-типа в кремниевых планарных структурах. Почему?

- 1 – бор
- 2 – алюминий
- 3 – галлий

4. У границы Si с каким покрытием  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$  плотность поверхностных состояний наименьшая?

- 1 - $\text{SiO}_2$
- 2 -  $\text{Al}_2\text{O}_3$
- 3 -  $\text{Si}_3\text{N}_4$

5. При каком механизме диффузии (вакансионном или междоузельном) коэффициенты диффузии примесей в кремнии больше? Почему?

1 - вакансионном

2 - междоузельном

6. Пользуясь данными плотности и молекулярного веса Si и SiO<sub>2</sub>, покажите, что на формирование слоя SiO<sub>2</sub> толщиной d<sub>0</sub>, расходуется слой Si толщиной

1 - 0,45d<sub>0</sub>,

2 - 0,7 d<sub>0</sub>

Плотность SiO<sub>2</sub> составляет 2,27г\см<sup>3</sup>, а плотность Si – 2,33г\см<sup>3</sup>.

### Ответы на типовые задания

номер задания	правильные ответы
1	3
2	1
3	1
4	1
5	2
6	1

### Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	более 60% правильных ответов на вопросы теста
не зачтено	менее 60 % правильных ответов на вопросы 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 отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимальный допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<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	<b>превосходно</b>	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
	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	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

#### 5.3.1 Типовые задания, выносимые на промежуточную аттестацию:

##### Оценочное средство - Контрольные вопросы

##### Экзамен

##### Критерии оценивания (Контрольные вопросы - Экзамен)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Отличная подготовка. Студент 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. Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
отлично	Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета в рамках изученных алгоритмов и подходов. При ответе на дополнительные вопросы допускаются незначительные неточности.
очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает хороший уровень знания вопросов билета и отвечает с небольшими неточностями.
хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает средний уровень знания вопросов билета и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета).
удовлетворительно	Удовлетворительная подготовка. Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий отвечая с наводящими вопросами преподавателя.
неудовлетворительно	Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.
плохо	Подготовка совершенно недостаточна. Последующая пересдача возможна только с комиссией.

**Типовые задания (Контрольные вопросы - Экзамен) для оценки сформированности компетенции ОПК-6 ОС ВО ННГУ (Способность применять фундаментальные знания о физических свойствах систем с пониженной размерностью и учитывать современные тенденции развития нанотехнологий в своей профессиональной деятельности)**

## Типовые контрольные (экзаменационные) вопросы

1. Дать краткую характеристику дефектам, возникающим в эпитаксиальных слоях.
2. Решения II-го уравнения диффузии для различных начальных условий

---

1. Основные процессы, происходящие при росте термического диоксида кремния. Линейный и параболический законы роста.

2. Причины, влияющие на распределение примесей в реальных кристаллах

---

1. Структура и свойства пленок SiO<sub>2</sub>

2. Типовая схема проведения фотолитографического процесса

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

Основная литература:

1. Королёв М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем. Ч. 1. Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование / Королёв М.А.; Крупкина Т.Ю.; Ревелева М.А. - Москва : Лаборатория знаний, 2020. - 400 с. - ISBN 978-5-00101-814-8., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=736528&idb=0>.

2. Основы конструирования и технологии производства радиоэлектронных средств. Интегральные схемы / под ред. Гуляева Ю.В. - Москва : Юрайт, 2022. - 460 с. - (Высшее образование). - URL: <https://urait.ru/bcode/490268> (дата обращения: 05.01.2022). - ISBN 978-5-534-03170-6 : 1109.00. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=784727&idb=0>.

3. Пичугин Игорь Геннадиевич. Технология полупроводниковых приборов : [учеб. пособие для вузов по специальностям "Полупроводники и диэлектрики", "Полупроводниковые и микроэлектрон. приборы"]. - М. : Высшая школа, 1984. - 288 с. : ил. - 1.10., 4 экз.

4. Курносков Анатолий Иванович. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем : [для вузов по специальностям "Полупроводники и диэлектрики" и "Полупроводниковые приборы"]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1979. - 367 с. : ил. - 1.20., 3 экз.

5. Березин Андрей Сергеевич. Технология и конструирование интегральных микросхем : [учеб. пособие для вузов по специальностям "Физика и технология материалов и компонентов электрон. техники", "Микроэлектроника и полупроводниковые приборы"]. - М. : Радио и связь, 1992. - 319, [1] с. : ил. - ISBN 5-256-01014-X (в пер.) : 15.00., 3 экз.

6. Риссел Х. Ионная имплантация / пер. с нем. В. В. Климова, Пальянова В. Н. ; под ред. М. И. Гусевой. - М. : Наука, 1983. - 360 с. : ил. - 4.50., 3 экз.

7. Барыбин Анатолий Андреевич. Физико-химия наночастиц, наноматериалов и наноструктур : Учебное пособие. - Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2011. - 236 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-7638-2396-7., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=602974&idb=0>.

8. Барыбин Анатолий Андреевич. Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям 550700 и 654100 "Электроника и микроэлектроника" подготовки бакалавров, магистров и дипломированных специалистов. - М. : Физматлит, 2006. - 424 с. - ISBN 5-9221-0679-1 : 264.00., 9 экз.
9. Физико-технологические основы макро-, микро- и наноэлектроники / Барыбин А.А., Томилин В.И., Шаповалов В.И. - Москва : Физматлит, 2011., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=647014&idb=0>.
10. Валиев Камиль Ахметович. Физика субмикронной литографии. - М. : Наука, 1990. - 527, [1] с. : ил. - ISBN 5-02-014381-2 : 7.50., 1 экз.

Дополнительная литература:

1. Кузнецов В. В. Межфазные взаимодействия при гетероэпитаксии полупроводниковых твердых растворов : монография / Кузнецов В. В., Москвин П. П. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 376 с. - Книга из коллекции Лань - Химия. - ISBN 978-5-8114-3809-9., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=798923&idb=0>.
2. Петров В. М. Интерференция и дифракция для информационной фотоники / Петров В. М., Шамрай А. В. - 2-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2020. - 460 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции Лань - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-8114-5151-7., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=778602&idb=0>.
3. Коледов Леонид Александрович. Технология и конструкция микросхем, микропроцессоров и микросборок : [учеб. для вузов по специальности "Конструирование и технология радиоэлектрон. средств"]. - М. : Радио и связь, 1989. - 399, [1] с. : ил. - ISBN 5-256-00142-6 (в пер.) : 1.30., 4 экз.
4. Мейер Д. Ионное легирование полупроводников : (Кремний и германий) : пер. с англ. / под ред. В. М. Гусева. - М. : Мир, 1973. - 296 с. : ил. - 4300.00., 3 экз.
5. Валиев Камиль Ахметович. Физические основы субмикронной литографии в микроэлектронике. - М. : Радио и связь, 1984. - 350 с. : ил. - 2.80., 3 экз.
6. Таиров Юрий Михайлович. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов : [учеб. для вузов по специальности "Полупроводники и диэлектрики", "Полупроводниковые и микроэлектронные приборы"]. - М. : Высшая школа, 1983. - 271 с. : ил. - 1.10., 25 экз.
7. Таиров Юрий Михайлович. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов : [учеб. для вузов по специальности "Физика и технология материалов и компонентов электронной техники", "Микроэлектроника и полупроводниковые приборы"]. - М. : Высшая школа, 1990. - 422, [1] с. : ил. - ISBN 5-06-001032-5 : 1.30., 5 экз.
8. Черняев Александр Владимирович. Метод ионной имплантации в технологии приборов и интегральных схем на арсениде галлия. - М. : Радио и связь, 1990. - 85, [2] с. : ил. - ISBN 5-256-00740-8 : 1.00., 1 экз.
9. Черняев Владимир Николаевич. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров : [учеб. для вузов по специальностям "Конструирование и пр-во электрон.-вычисл. аппаратуры", "Конструирование и пр-во радиоаппаратуры"]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1987. - 463, [1] с. : ил. - Загл. корешка: Технология интегральных микросхем. - 1.40., 1 экз.
10. Парфенов Олег Дмитриевич. Технология микросхем : [учеб. пособие для вузов по специальности "Конструирование и пр-во электрон.-вычисл. аппаратуры"]. - М. : Высшая школа, 1986. - 318, [2] с. : ил. - 1.10., 3 экз.

11. Зорин Евгений Иванович. Ионное легирование полупроводников. - М. : Энергия , 1975. - 129 с. : ил. - (Библиотечка радиотехнолога ; вып. 6). - 0.39., 2 экз.

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

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

### **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: При выполнении лабораторных работ используются лаборатории кафедры физики полупроводников, электроники и наноэлектроники и соответствующее оборудование:

- вакуумная установка напыления тонких пленок методом электронно-лучевого испарения ВУ-1А;
- вакуумная установка напыления тонких пленок методом магнетронного распыления ВУП-5М и/или TORR Int;
- установка вакуумного отжига и плазменной обработки в вакууме или в газовой среде на базе поста ВУП-5;
- установка ультразвуковой микросварки типа УСИММ-3;
- установка термокомпрессионной микросварки;
- спектрально-аналитический комплекс на базе спектрометра S150-1024/124;
- электропечь высокотемпературного отжига типа СУОЛ-044 с водяной баней и магистралью инертного газа;
- система механической обработки полупроводниковых пластин методом шарового шлифа;
- интерференционные микроскопы МИИ-4;
- установка совмещения и экспонирования типа ОСП-02;
- вытяжные модули и шкафы;
- спектрофотометр Cary-5000 УФ-Вид-ближнего ИК- диапазонов.

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 ОС ННГУ по направлению 11.03.04 - Электроника и наноэлектроника.

Автор(ы): Ершов Алексей Валентинович, кандидат физико-математических наук, доцент.

Рецензент(ы): Бурдов Владимир Анатольевич, доктор физико-математических наук.

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

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 20.05.2023, протокол № б/н.