

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по безопасности и общим вопросам

Дата подписания: 30.09.2023 16:41:18

Уникальный программный ключ:

d7a26b9e8ca85e98ac3de2ab454b4659d961f749

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

# Молекулярно-пучковая и МОС-гидридная технологии

Закреплена за подразделением

Кафедра технологии материалов электроники

Направление подготовки

11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Технологии микро- и нанoeлектроники

Квалификация

**Магистр**

Форма обучения

**очная**

Общая трудоемкость

**4 ЗЕТ**

Часов по учебному плану

144

Формы контроля в семестрах:  
экзамен 2

в том числе:

аудиторные занятия

34

самостоятельная работа

56

часов на контроль

54

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	2 (1.2)		Итого	
	УП	РП		
Неделя	18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Лабораторные	17	17	17	17
Итого ауд.	34	34	34	34
Контактная работа	34	34	34	34
Сам. работа	56	56	56	56
Часы на контроль	54	54	54	54
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

*ктн, Доцент, Курочка Александр Сергеевич; ктн, Доцент, Сергиенко Андрей Алексеевич*

Рабочая программа

**Молекулярно-пучковая и МОС-гидридная технологии**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА (приказ от 05.03.2020 г. № 95 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, 11.04.04-МЭН-22-3.plx Технологии микро- и нанoeлектроники, утвержденного Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, Технологии микро- и нанoeлектроники, утвержденной Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра технологии материалов электроники**

Протокол от 18.06.2020 г., №10

Руководитель подразделения Костишин В.Г.

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	Цель – подготовить выпускников к научно-исследовательской деятельности, связанной с применением процессов МПЭ и ГФЭ МОС для формирования полупроводниковых гетероструктур различного назначения.
-----	--

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.В
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники	
2.1.2	Конструирование светоизлучающих устройств	
2.1.3	Конструирование фотопреобразователей	
2.1.4	Методы математического моделирования	
2.1.5	Современные методы диагностики и исследования наногетероструктур	
2.1.6	Физика квантоворазмерных полупроводниковых гетерокомпозиций	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	
2.2.1	Высоковакуумное оборудование в нанoeлектронике	
2.2.2	Приборы и устройства магнитоэлектроники	
2.2.3	Приборы и устройства на основе наносистем	
2.2.4	Проектирование и технология электронной компонентной базы	
2.2.5	Технология материалов экстремальной электроники	
2.2.6	Эпионная технология в микро- и нанoиндустрии	
2.2.7	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.8	Преддипломная практика	

**3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ**

<b>ПК-2: Способность оптимизировать параметры технологических операций</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-2-31 методы МПЭ и ГФЭ МОС для формирования полупроводниковых гетероструктур	
ПК-2-32 основы технологии изготовления изделий электронной техники	
ПК-2-33 технический английский язык;	
<b>ПК-3: Способность проводить экспериментальные работы и осваивать новые технологические процессы</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-3-31 передовой отечественный и зарубежный опыт в сфере технологии формирования высококачественных полупроводниковых гетерокомпозиций, закладывающих основу перехода к новым базовым элементам нанoeлектроники	
<b>УК-1: Способен осуществлять критический анализ новых и сложных инженерных объектов, процессов и систем в междисциплинарном контексте, проблемных ситуаций на основе системного подхода, выбрать и применить наиболее подходящие и актуальные методы из существующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов или новых и инновационных методов, вырабатывать стратегию действий</b>	
<b>Знать:</b>	
УК-1-31 современные методы анализа зависимости свойств полупроводниковых гетерокомпозиций от их фазового и стехиометрического состава, поведения примесей и структурных дефектов;	
<b>ОПК-2: Способен применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения сложных задач в профессиональной области</b>	
<b>Знать:</b>	
ОПК-2-31 базовые технологические процессы и маршруты нанoeлектроники;	
<b>ПК-3: Способность проводить экспериментальные работы и осваивать новые технологические процессы</b>	
<b>Уметь:</b>	
ПК-3-У1 проводить расчеты режимов технологических операций	
ПК-3-У2 разрабатывать технологические маршруты (маршрутные карты)	

<b>ПК-2: Способность оптимизировать параметры технологических операций</b>
<b>Уметь:</b>
ПК-2-У2 оптимизировать параметры технологических операций
<b>ОПК-2: Способен применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения сложных задач в профессиональной области</b>
<b>Уметь:</b>
ОПК-2-У1 проводить анализ и определять причины отклонения параметров
<b>ПК-2: Способность оптимизировать параметры технологических операций</b>
<b>Уметь:</b>
ПК-2-У1 измерять электрофизические параметры формируемых слоев и изделий
<b>ПК-3: Способность проводить экспериментальные работы и осваивать новые технологические процессы</b>
<b>Владеть:</b>
ПК-3-В1 методы проектирования технологических процессов электроники и нанoeлектроники.
<b>ОПК-2: Способен применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения сложных задач в профессиональной области</b>
<b>Владеть:</b>
ОПК-2-В1 осуществление тестового запуска, технологического сопровождения и контроля экспериментальной партии
<b>ПК-2: Способность оптимизировать параметры технологических операций</b>
<b>Владеть:</b>
ПК-2-В2 осуществление поэтапного контроля технологических и электрофизических параметров изготавливаемого изделия
ПК-2-В1 расчет режимов технологического процесса для конкретной технологии

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	<b>Раздел 1. Процесс молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ)</b>							
1.1	Роль кинетики и структуры поверхности в условиях МПЭ. Применение термодинамики для описания процессов МПЭ. /Лек/	2	6	УК-1-31 ОПК-2-31 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-3-31	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1			
1.2	Исследование кинетических моделей роста эпитаксиальных слоев в условиях МПЭ /Лаб/	2	6	УК-1-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-В1 ПК-2-В2 ПК-3-31	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1			
1.3	Процесс молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ). Подготовка к защите лабораторной работы. /Ср/	2	18	УК-1-31 ОПК-2-31 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-3-31	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1			
	<b>Раздел 2. Метод газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений</b>							

2.1	Механизм роста и механизм вхождения примесей в условиях ГФЭ МОС. /Лек/	2	6	УК-1-31 ОПК-2-31 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-3-31	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1			
2.2	Исследование зависимости скорости роста эпитаксиальных слоев от температуры подложки при постоянных температурах источников в условиях МПЭ /Лаб/	2	6	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-В1 ПК-2-В2 ПК-3-31 ПК-3-У1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1			
2.3	Метод газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений. Подготовка к защите лабораторной работы. Тест. Реферат. /Ср/	2	18	УК-1-31 ОПК-2-31 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-3-31	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1			
<b>Раздел 3. Самоорганизация при эпитаксиальном росте</b>								
3.1	Механизмы роста в условиях гетероэпитаксии /Лек/	2	5	УК-1-31 ОПК-2-31 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-3-31	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1			
3.2	Исследование зависимости скорости роста эпитаксиальных слоев от температуры источников при постоянной температуре подложки в условиях МПЭ /Лаб/	2	5	УК-1-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-2-У1 ПК-2-У2 ПК-2-В1 ПК-2-В2 ПК-3-У1 ПК-3-У2 ПК-3-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1			
3.3	Самоорганизация при эпитаксиальном росте. Подготовка к защите лабораторной работы. Контрольная работа. Реферат. /Ср/	2	20	УК-1-31 ОПК-2-31 ПК-2-31 ПК-2-32 ПК-2-33 ПК-3-31	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1			

## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### 5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
-----------	-------------------------	------------------------------------	------------------------

КМ1	Реферат	ОПК-2-31;УК-1-31;ПК-2-31;ПК-2-32;ПК-2-33;ПК-3-31	<p>МПЭ и развитие технологии полупроводниковых сверхрешеток и структур с квантовыми ямами.</p> <p>Кинетические процессы при выращивании тонких пленок методом МПЭ.</p> <p>Влияние вида компонентов мышьяка на свойства пленок.</p> <p>Кинетические представления роста слоев твердых растворов.</p> <p>Основы термодинамического подхода при росте слоев GaAs.</p> <p>Конкурирующие реакции при выращивании GaAs методом МПЭ.</p> <p>Легирование арсенида галлия в условиях МПЭ.</p> <p>Молекулярно-пучковая эпитаксия кремния.</p> <p>Выращивание пленок соединений АПВVI и их твердых растворов методом МПЭ.</p> <p>Выращивание методом МПЭ соединений АIVBVI и их твердых растворов.</p> <p>Выращивание методом МПЭ и свойства полупроводников АПВV.</p> <p>Проблемы технологии квантово-размерных структур.</p> <p>Режимы роста гетероэпитаксиальных структур.</p> <p>Зависимость скорости роста слоев от параметров процесса МОС-гидридной эпитаксии.</p> <p>Особенности конструкций реакторов в установках МОС-гидридной эпитаксии.</p> <p>Самоорганизация при эпитаксиальном росте.</p> <p>МПЭ и реализация идей сверхрешетки для устройств наноэлектроники.</p> <p>Возможности МПЭ и МОС-гидридной эпитаксии в наноэлектронике.</p>
КМ2	Контрольные вопросы для защиты Лабораторной работы №1	ОПК-2-31;УК-1-31;ПК-2-31;ПК-2-32;ПК-2-33;ПК-3-31	<p>Влияние коэффициента поверхностной диффузии на параметры МПЭ;</p> <p>Технологические особенности молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ);</p> <p>Системы, используемые для МПЭ;</p> <p>Кинетика МПЭ;</p> <p>Термодинамика МПЭ;</p> <p>Ионная имплантация в условиях МПЭ;</p> <p>Методы диагностики при проведении МПЭ;</p> <p>Особенности легирования в условиях МПЭ;</p> <p>Существующие модели роста МПЭ.</p>
КМ3	Контрольные вопросы для защиты Лабораторной работы №2	ОПК-2-31;УК-1-31;ПК-2-31;ПК-2-32;ПК-2-33;ПК-3-31	<p>Зависимость скорости роста слоя от температуры источников;</p> <p>Зависимость скорости роста слоя от температуры подложки;</p> <p>Влияние коэффициента прилипания на скорость роста и структуру эпитаксиального слоя;</p> <p>Влияние остаточных газов на качество эпитаксиальных слоев;</p> <p>Преимущества МПЭ по сравнению с эпитаксией из паровой фазы;</p> <p>Методы диагностики при проведении МПЭ;</p> <p>Особенности легирования в условиях МПЭ.</p>
КМ4	Контрольные вопросы для защиты Лабораторной работы №3	ОПК-2-31;УК-1-31;ПК-2-31;ПК-2-32;ПК-2-33;ПК-3-31	<p>Технологические особенности молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ);</p> <p>Системы, используемые для МПЭ;</p> <p>Кинетика МПЭ;</p> <p>Термодинамика МПЭ;</p> <p>Ионная имплантация в условиях МПЭ;</p> <p>Методы диагностики при проведении МПЭ;</p> <p>Особенности легирования в условиях МПЭ;</p> <p>Существующие модели роста МПЭ;</p> <p>Зависимость скорости роста слоя от температуры источников;</p> <p>Зависимость скорости роста слоя от температуры подложки;</p> <p>Влияние коэффициента прилипания на скорость роста и структуру эпитаксиального слоя;</p> <p>Влияние остаточных газов на качество эпитаксиальных слоев;</p> <p>Методы диагностики при проведении МПЭ;</p> <p>Особенности легирования в условиях МПЭ.</p>

KM5	Тест	ОПК-2-31;УК-1-31;ПК-2-31;ПК-2-32;ПК-2-33;ПК-3-31	<p>Какой процесс используется в молекулярно-пучковой эпитаксии? Химическое осаждение из парогазовой фазы; Конденсация молекулярных пучков в вакууме; X Реакции пиролиза легколетучих металлоорганических соединений. Какая степень вакуума необходима для проведения МПЭ? 1,33·10<sup>-4</sup> – 1,33·10<sup>-6</sup> Па; 1,33·10<sup>-6</sup> – 1,33·10<sup>-8</sup> Па; X 1,33·10<sup>-8</sup> – 1,33·10<sup>-10</sup> Па. Температурный диапазон для МПЭ лежит в пределах: От 200 до 600°С; От 400 до 800°С; X От 600 до 1000°С. Скорость роста эпитаксиального слоя в условиях МПЭ составляет: От 0,01 до 0,3 мкм/мин; X От 0,1 до 3 мкм/мин; От 0,1 до 1 мкм/мин. Какие факторы ограничивают увеличение температуры подложки: Снижение скорости роста; X Уменьшение коэффициента прилипания; Активация взаимной диффузии. Скорость поверхностной диффузии, предваряющей встраивание атомов в кристаллическую решетку, соответствует количеству диффузионных прыжков: 103; 104; X 105. Материалами, наиболее часто применяемыми в качестве примеси, являются: As, P, B; Sb, Ga, Al; X Bi, In, Te. Каким способом изменяется состав или уровень легирования выращиваемых структур: Регулированием температуры источника подложки; Изменением температуры источника примеси; Использованием индивидуальных заслонок. X Рост слоев при МПЭ определяется: Массопереносом в пограничном слое; Кинетикой взаимодействия пучков с поверхностью; X Газовым потоком смеси компонентов реакции с диффузией в направлении фронта роста. Величина энергий ионов при ионной имплантации в условиях МПЭ: 10 – 100 эВ; X 100 – 3000 эВ; 3 – 5 кэВ. Плотность потока атомов Ga в условиях МПЭЭ составляет: 1013 атом/см<sup>2</sup>с; 1014 атом/см<sup>2</sup>с; X 1015 атом/см<sup>2</sup>с. Стехиометрия слоев соединения АПВВ достигается поддержанием: Избыточным (по сравнению сАП) потоком молекул BV; X Равенством потоков молекул АП и BV; Избыточным (по сравнению с BV) потоком молекул АП. Скорость роста слоев соединения АПВВ определяется: Плотностью потока атомов элемента АП; Плотностью потока атомов элемента BV; X Отношением плотностей потоков атомов BV и АП. Какое соотношение между площадью испарения вещества Si<sub>сп</sub> и площадью истечения пара Si<sub>ист</sub> необходимо выполнять для обеспечения постоянства скорости истечения пара? Si<sub>сп</sub> &lt; Si<sub>ист</sub>; Si<sub>сп</sub> = Si<sub>ист</sub>; Si<sub>сп</sub> &gt; Si<sub>ист</sub>. X Скорость истечения пара через эффузионные отверстия определяется: Разностью давлений в эффузионной ячейке и вакуумной камере; X</p>
-----	------	--	---

			<p>Площадь испарения вещества; Площадь истечения пара. Какой газ используется в качестве носителя в условиях МОС-гидридной эпитаксии? Азот; Аргон; Водород. X В каких температурных условиях проводится МОС-гидридная эпитаксия? В горячем реакторе и нагретой подложке; В холодном реакторе и нагретой подложке; X В холодном реакторе и холодной подложке. Толщина переходного слоя в условиях МОС-гидридной эпитаксии составляет: 10нм; X 15 нм; 20нм. Резкость границы «подложка-слой» в условиях МОС-гидридной эпитаксии обеспечивается: Увеличением массы потока газа при атмосферном давлении; Понижением рабочего давления в реакторе; X Изменением температуры подложки.</p> <p>Вопросы для контрольной работы №1 (УК-2-31; ПК-1-31; ПК-1-32; ПК-2-31; ПК-2-32; ПК-3-31): По какой причине нельзя получить эпитаксиальный слой разлагающегося соединения из одного источника? Почему важно знать диффузионную длину пробега адсорбированного атома при МЛЭ? Какие основные причины определяют возникновение структурных дефектов в эпитаксиальных слоях при МЛЭ? Почему необходимо учитывать время жизни адсорбированного атома при МЛЭ? Какие химические реакции происходят при выращивании пленок GaAs методом МОС-гидридной эпитаксии. Какие химические реакции происходят при выращивании пленок AlGaAs методом МОС-гидридной эпитаксии. Какие химические реакции происходят при выращивании пленок InP методом МОС-гидридной эпитаксии. Какие химические реакции происходят при выращивании пленок GaInAsP методом МОС-гидридной эпитаксии. Какие химические реакции происходят при выращивании пленок InGaAs методом МОС-гидридной эпитаксии. Какие химические реакции происходят при выращивании пленок InAlAs методом МОС-гидридной эпитаксии. Какие химические реакции происходят при выращивании пленок GeInAsP методом МОС-гидридной эпитаксии. Каким аналитическим выражением описываются стадии самоорганизации при эпитаксиальном росте. Каким соотношением связаны полная плотность свободной энергии Гиббса <math>G</math> с плотностью свободной энергии Гиббса <math>G_{sur-vac}</math>, плотностью свободной энергии между поверхностью и слоями атомов <math>G_{sur-lay}</math> и плотностью свободной энергии между слоями атомов и вакуумом <math>G_{lay-vac}</math>. Какой режим роста характерен для условия <math>G_{sur-vac} &gt; (G_{sur-lay} + G_{lay-vac})</math>. Какой режим роста характерен для условия <math>G_{sur-vac} &lt; (G_{sur-lay} + G_{lay-vac})</math>.</p>
<b>5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)</b>			
Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы



P1	Лабораторная работа №1	ОПК-2-В1;ОПК-2-У1;ПК-2-31;ПК-2-32;ПК-3-31;УК-1-31;ПК-2-У1;ПК-2-У2;ПК-2-В1;ПК-2-В2	Исследование кинетических моделей роста эпитаксиальных слоев в условиях МПЭ
P2	Лабораторная работа №2	ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;ПК-2-31;ПК-2-32;ПК-2-У1;ПК-2-У2;ПК-2-В1;ПК-2-В2;ПК-3-31;ПК-3-У1	Исследование зависимости скорости роста эпитаксиальных слоев от температуры подложки при постоянных температурах источников в условиях МПЭ
P3	Лабораторная работа №3	ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;УК-1-31;ПК-2-У1;ПК-2-У2;ПК-2-В1;ПК-2-В2;ПК-3-У1;ПК-3-У2;ПК-3-В1	Исследование зависимости скорости роста эпитаксиальных слоев от температуры источников при постоянной температуре подложки в условиях МПЭ

### 5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

По дисциплине проводится аттестация. Предусмотрена в форме: экзамен. Экзамен сдается устно и состоит из задачи и двух вопросов. Задача представляет собой типовую задачу.

Примерная формулировка вопросов на экзамене:

Технологические особенности молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ);  
 Преимущества МПЭ по сравнению с эпитаксией из паровой фазы;  
 Системы, используемые для МПЭ;  
 Кинетика МПЭ;  
 Термодинамика МПЭ;  
 Ионная имплантация в условиях МПЭ;  
 Методы диагностики при проведении МПЭ;  
 Особенности легирования в условиях МПЭ;  
 Существующие модели роста МПЭ;  
 Зависимость скорости роста слоя от температуры источников;  
 Зависимость скорости роста слоя от температуры подложки;  
 Элементарные процессы в зоне роста эпитаксиального слоя;  
 Условная схема зоны роста эпитаксиального слоя;  
 Влияние коэффициента прилипания на скорость роста и структуру эпитаксиального слоя;  
 Влияние коэффициента поверхностной диффузии на параметры МПЭ;  
 Определение температуры испарительной ячейки;  
 Влияние остаточных газов на качество эпитаксиальных слоев;  
 Определение понятия «критической» плотности молекулярного потока;  
 Влияние предварительной обработки подложек на качество выращиваемых слоев;  
 Зависимость отношений молекулярных потоков As<sub>4</sub>/Ga от температуры подложек;  
 Особенности МОС-гидридной эпитаксии;  
 Схема установки МОС-гидридной эпитаксии;  
 Преимущества МОС-гидридной эпитаксии с пониженным давлением в реакторе;  
 Современные требования к установкам МОС-гидридной эпитаксии;  
 Зависимость скорости роста слоя от температуры подложки;  
 Процессы в реакторе установки МОС-гидридной эпитаксии;  
 Характеристика металлоорганических соединений, используемых в МОС-гидридной эпитаксии;  
 Возможности МОС-гидридной эпитаксии;  
 Основные стадии МОС-гидридной технологии;  
 Сравнительные возможности методов МПЭ и МОС-гидридной эпитаксии.

**5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)**

По дисциплине предполагается следующая шкала оценок:

- а) «отлично» – студент показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний на практике, грамотно и логически стройно излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного теоретического материала, знает дополнительно рекомендованную литературу;
- б) «хорошо» – студент показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал;
- в) «удовлетворительно» – студент показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но уверенно исправляемыми после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике;
- г) «неудовлетворительно» – студент допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает неполные ответы на дополнительные и наводящие вопросы.

**6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ****6.1. Рекомендуемая литература****6.1.1. Основная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Борисенко В. Е.	Нанoeлектроника: теория и практика: учебник	Электронная библиотека	Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015
Л1.2	Щука А. А., Сигов А. А.	Нанoeлектроника: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015

**6.1.2. Дополнительная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Шишкин Г. Г., Агеев И. М.	Нанoeлектроника: элементы, приборы, устройства: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015
Л2.2	Соколов И. А.	Расчеты процессов полупроводниковой технологии: Учеб. пособие для вузов	Библиотека МИСиС	М.: Металлургия, 1994
Л2.3	Кузнецов Г. Д.	Технология материалов электронной техники. Атомно-молекулярные процессы кристаллизации: учебно-метод. пособие для студ. вузов напр. Физ. материаловедение и спец. Наноматериалы	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2006

**6.1.3. Методические разработки**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Кузнецов Г. Д., Курочка С. П., Кушхов А. Р., др.	Процессы микро- и нанотехнологии. Ионно-плазменные процессы: лаб. практикум	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2007

**6.3 Перечень программного обеспечения**

П.1	Microsoft Office
П.2	LMS Canvas
П.3	MS Teams
П.4	WinRAR
П.5	Win Pro 10 32-bit/64-bit

**6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных****7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

Ауд.	Назначение	Оснащение
------	------------	-----------

Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Читальный зал электронных ресурсов		комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.
К-433	Лаборатория «Синтеза микро-и наноразмерных пленок и покрытий»:	установки для напыления пленок УВН (4 шт.), вакуумный пост ВУП-5, установка для травления Плазма 600, микроинтерферометр МИИ-4, набор демонстрационного оборудования, в том числе: мультимедийный проектор, экран проекционный, комплект учебной мебели на 20 посадочных мест

### 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Дисциплина относится к точным наукам и требует значительного объема самостоятельной работы. На практических занятиях будут рассмотрены ключевые положения дисциплины и наиболее важные темы курса. Отдельные учебные вопросы выносятся на самостоятельную проработку и контролируются посредством текущей аттестации. Качественное освоение дисциплины возможно только при систематической самостоятельной работе, что поддерживается системой текущей и рубежной аттестации. Самостоятельная работа должна состоять в изучении рекомендованных разделов учебников и пособий, ответов на контрольные вопросы, выполнении домашних заданий.