

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 12.10.2023 12:49:17

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

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

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Квалификация

**Инженер-исследователь**

Форма обучения

**очная**

Общая трудоемкость

**5 ЗЕТ**

Часов по учебному плану

180

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 10

аудиторные занятия

68

самостоятельная работа

76

часов на контроль

36

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	10 (5.2)		Итого	
	Неделя 18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	34	34	34	34
Лабораторные	17	17	17	17
Практические	17	17	17	17
Итого ауд.	68	68	68	68
Контактная работа	68	68	68	68
Сам. работа	76	76	76	76
Часы на контроль	36	36	36	36
Итого	180	180	180	180

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 - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» по направлению подготовки 11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА (приказ от 28.06.2023 г. № 292 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, 11.03.04-БЭН-23\_6-ПП.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

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.ДВ.15
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Методы математического моделирования	
2.1.2	Методы характеристики полупроводниковых материалов и структур	
2.1.3	Моделирование процессов и устройств полупроводниковой электроники	
2.1.4	Силовые полупроводниковые приборы	
2.1.5	Современные методы диагностики и исследования наногетероструктур	
2.1.6	Физика квантоворазмерных полупроводниковых композиций	
2.1.7	Физика наноструктур	
2.1.8	Физико-химия и технология наноструктур	
2.1.9	Вакуумная и плазменная электроника	
2.1.10	Квантоворазмерные структуры в нанoeлектронике	
2.1.11	Магнитные измерения	
2.1.12	Математические модели технологических процессов получения магнитоэлектроники и радиокерамики	
2.1.13	Моделирование технологических процессов получения материалов электронной техники	
2.1.14	Нанoeлектроника полупроводниковых приборов и устройств	
2.1.15	Оборудование производства ферритовых материалов и радиокерамики	
2.1.16	Основы радиационной стойкости изделий электронной техники	
2.1.17	Основы технологии электронной компонентной базы	
2.1.18	Приборы квантовой и оптической электроники	
2.1.19	Процессы вакуумной и плазменной электроники	
2.1.20	Технология производства ферритовых материалов и радиокерамики	
2.1.21	Физика взаимодействия частиц и излучений с веществом	
2.1.22	Элементы и устройства магнитоэлектроники	
2.1.23	Дефекты в оптоэлектронных полупроводниковых приборах на широкозонных материалах	
2.1.24	Ионно-плазменная обработка материалов	
2.1.25	Компьютерные технологии проектирования процессов нанoeлектроники	
2.1.26	Материаловедение ферритов и родственных магнитных систем	
2.1.27	Методы исследования материалов и структур электроники	
2.1.28	Основы проектирования электронной компонентной базы. Пакеты прикладных программ	
2.1.29	Основы технологии электронной компонентной базы. Технология тонких пленок	
2.1.30	Полевые полупроводниковые приборы	
2.1.31	Полупроводниковая нанoeлектроника	
2.1.32	Приемники оптического излучения	
2.1.33	Физика импульсного отжига	
2.1.34	Физико-математические модели процессов нанoeлектроники	
2.1.35	Физические основы электроники	
2.1.36	Функциональная нанoeлектроника	
2.1.37	Биполярные полупроводниковые приборы	
2.1.38	Инженерная математика	
2.1.39	Квантовая и оптическая электроника	
2.1.40	Материаловедение полупроводников и диэлектриков	
2.1.41	Технология материалов электронной техники	
2.1.42	Физика диэлектриков	
2.1.43	Физика конденсированного состояния	
2.1.44	Физика магнитных явлений	
2.1.45	Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники	
2.1.46	Метрология, стандартизация и технические измерения в магнитоэлектронике	

2.1.47	Метрология, стандартизация и технические измерения в полупроводниковой электронике
2.1.48	Статистическая физика
2.1.49	Физические свойства кристаллов
2.1.50	Электроника
2.1.51	Математическая статистика и анализ данных
2.1.52	Методы математической физики
2.1.53	Практическая кристаллография
2.1.54	Физика
2.1.55	Физическая химия
2.1.56	Математика
2.1.57	Органическая химия
2.1.58	Химия
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>
2.2.1	Основы надежности элементной базы электроники в условиях ионизирующего излучения космического пространства
2.2.2	Проектирование и технология электронной компонентной базы
2.2.3	Радиационно-технологические процессы в электронике
2.2.4	Технологии материалов для радиопоглощения и электромагнитного экранирования
2.2.5	Физика и техника магнитной записи
2.2.6	Электроника органических полупроводников (материалы, технологии, приборы)
2.2.7	Электронные и оптические свойства широкозонных соединений A2B6
2.2.8	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.9	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.10	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.11	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы

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

**ПК-5: Способность проводить анализ и выбор перспективных технологических процессов при производстве изделий микроэлектроники**

**Знать:**

ПК-5-32 современные методы анализа зависимости свойств полупроводниковых гетерокомпозиций от их фазового и стехиометрического состава, поведения примесей и структурных дефектов

ПК-5-31 технический английский язык

ПК-5-34 передовой отечественный и зарубежный опыт в сфере технологии формирования высококачественных полупроводниковых гетерокомпозиций, закладывающих основу перехода к новым базовым элементам нанoeлектроники

ПК-5-33 основы технологии изготовления изделий электронной техники

**ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области**

**Знать:**

ОПК-2-31 базовые технологические процессы и маршруты нанoeлектроники;

**ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности**

**Знать:**

ОПК-1-31 методы МПЭ и ГФЭ МОС для формирования полупроводниковых гетероструктур

**ПК-5: Способность проводить анализ и выбор перспективных технологических процессов при производстве изделий микроэлектроники**

**Уметь:**

ПК-5-У1 измерять электрофизические параметры формируемых слоев и изделий

ПК-5-У2 оптимизировать параметры технологических операций

ПК-5-У3 разрабатывать технологические маршруты (маршрутные карты)
<b>ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области</b>
<b>Уметь:</b>
ОПК-2-У1 проводить анализ и определять причины отклонения параметров
<b>ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности</b>
<b>Уметь:</b>
ОПК-1-У1 проводить расчеты режимов технологических операций
<b>ПК-5: Способность проводить анализ и выбор перспективных технологических процессов при производстве изделий микроэлектроники</b>
<b>Владеть:</b>
ПК-5-В1 методы проектирования технологических процессов электроники и нанoeлектроники
ПК-5-В2 расчет режимов технологического процесса для конкретной технологии
<b>ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности</b>
<b>Владеть:</b>
ОПК-1-В1 осуществление поэтапного контроля технологических и электрофизических параметров изготавливаемого изделия
<b>ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области</b>
<b>Владеть:</b>
ОПК-2-В1 осуществление тестового запуска, технологического сопровождения и контроля экспериментальной партии

#### 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/	10	12	ОПК-2-31 ОПК-1-31 ПК-5-31 ПК-5-32 ПК-5-33 ПК-5-34	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1			
1.2	Исследование кинетических моделей роста эпитаксиальных слоев в условиях МПЭ /Лаб/	10	6	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-5-У1 ПК-5-У2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1		КМ2	Р1
1.3	Процесс молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ). Подготовка к защите лабораторной работы. /Ср/	10	24	ОПК-2-31 ОПК-1-31 ПК-5-31 ПК-5-32 ПК-5-33 ПК-5-34	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1			
1.4	Процесс молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ) /Пр/	10	6	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1			Р4

	<b>Раздел 2. Метод газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений</b>							
2.1	Механизм роста и механизм вхождения примесей в условиях ГФЭ МОС. /Лек/	10	12	ОПК-2-31 ОПК-1-31 ПК-5-31 ПК-5-32 ПК-5-33 ПК-5-34	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/	10	6	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-5-У1 ПК-5-У2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1		КМ3	Р2
2.3	Метод газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений. Подготовка к защите лабораторной работы. Тест. Реферат. /Ср/	10	26	ОПК-2-31 ОПК-1-31 ПК-5-31 ПК-5-32	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1		КМ5,КМ1	
2.4	Метод газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений. Тест. /Пр/	10	6	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-5-У1 ПК-5-У2 ПК-5-У3 ПК-5-В1 ПК-5-В2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1		КМ5	Р5
	<b>Раздел 3. Самоорганизация при эпитаксиальном росте</b>							
3.1	Механизмы роста в условиях гетероэпитаксии /Лек/	10	10	ОПК-2-31 ОПК-1-31 ПК-5-31 ПК-5-32 ПК-5-33 ПК-5-34	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/	10	5	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-5-У1 ПК-5-У2 ПК-5-У3 ПК-5-В1 ПК-5-В2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1		КМ4	Р3
3.3	Самоорганизация при эпитаксиальном росте. Подготовка к защите лабораторной работы. Контрольная работа. Реферат. /Ср/	10	26	ОПК-2-31 ОПК-1-31 ПК-5-31 ПК-5-32 ПК-5-33 ПК-5-34	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1		КМ1	
3.4	Самоорганизация при эпитаксиальном росте. Контрольная работа. /Пр/	10	5	ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-5-У1 ПК-5-У2 ПК-5-У3	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3Л3.1			

**5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

<b>5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки</b>			
Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
КМ1	Реферат	ОПК-2-31;ОПК-1-31;ПК-5-31;ПК-5-32;ПК-5-33;ПК-5-34	<p>МПЭ и развитие технологии полупроводниковых сверхрешеток и структур с квантовыми ямами.</p> <p>Кинетические процессы при выращивании тонких пленок методом ППЭ.</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 нанoeлектроники.</p> <p>Возможности МПЭ и МОС-гидридной эпитаксии в нанoeлектронике.</p>
КМ2	Контрольные вопросы для защиты Лабораторной работы №1	ОПК-2-31;ОПК-1-31;ПК-5-31;ПК-5-32;ПК-5-33;ПК-5-34	<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;ОПК-1-31;ПК-5-31;ПК-5-32;ПК-5-33;ПК-5-34	<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;ОПК-1-31;ПК-5-31;ПК-5-32;ПК-5-33;ПК-5-34	<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;ОПК-1-31;ПК-5-31;ПК-5-32;ПК-5-33;ПК-5-34	<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?  <math>1,33 \cdot 10^{-4}</math> – <math>1,33 \cdot 10^{-6}</math> Па;  <math>1,33 \cdot 10^{-6}</math> – <math>1,33 \cdot 10^{-8}</math> Па; X  <math>1,33 \cdot 10^{-8}</math> – <math>1,33 \cdot 10^{-10}</math> 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:  <math>10^{13}</math> атом/см<sup>2</sup>с;  <math>10^{14}</math> атом/см<sup>2</sup>с; X  <math>10^{15}</math> атом/см<sup>2</sup>с.  Стехиометрия слоев соединения АПВV 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 АПВV 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>ст</sub> необходимо выполнять для обеспечения постоянства скорости истечения пара?  Si<sub>сп</sub> &lt; Si<sub>ст</sub>;  Si<sub>сп</sub> = Si<sub>ст</sub>;  Si<sub>сп</sub> &gt; Si<sub>ст</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>
--	--	--	--

**5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)**

Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
P1	Лабораторная работа №1	ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;ПК-5-У1;ПК-5-У2;ПК-5-У3;ПК-5-В1;ПК-5-В2	Исследование кинетических моделей роста эпитаксиальных слоев в условиях МПЭ

P2	Лабораторная работа №2	ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;ПК-5-У1;ПК-5-У2;ПК-5-У3;ПК-5-В1;ПК-5-В2	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;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;ПК-5-У1;ПК-5-У2;ПК-5-У3;ПК-5-В1;ПК-5-В2	Исследование зависимости скорости роста эпитаксиальных слоев от температуры источников при постоянной температуре подложки в условиях МПЭ
P4	Практическая работа №1	ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;ПК-5-У1;ПК-5-У2;ПК-5-У3;ПК-5-В1;ПК-5-В2	Процесс молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ)
P5	Практическая работа №2	ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;ПК-5-У1;ПК-5-У2;ПК-5-У3;ПК-5-В1;ПК-5-В2	Метод газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений
P6	Практическая работа №3	ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;ПК-5-У1;ПК-5-У2;ПК-5-У3;ПК-5-В1;ПК-5-В2	Самоорганизация при эпитаксиальном росте

### 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 Геннадий Дмитриевич	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 Геннадий Дмитриевич, Курочка Сергей Петрович, Кушхов Аскер Русланович, 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	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.