

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)



А.А.Панфилов

2019

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Физико-химические процессы в технологии электронных**  
**средств»**

Направление подготовки 11.03.03 "Конструирование и технология электронных средств"

Профиль подготовки: «Компьютерный дизайн электронных средств»

Уровень высшего образования: бакалавриат

Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточной аттестации (экзамен/зачет/зачет с оценкой)
3	4/144	36	18	18	72	Зачет
Итого	4/144	36	18	18	72	Зачет

Владимир 2019

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины – формирование у студентов знаний о физико-химических закономерностях процессов, отражающих сущность явлений, составляющих основу современной технологии электронных средств, принципах термодинамического и кинетического описания и анализа технологических процессов.

Задачи:

- формирование у студентов знаний в области теоретических основ технологических процессов производства электронных средств;
- формирование у студентов навыков анализа физических и химических явлений и эффектов, лежащих в основе базовых технологических процессов, оценки их параметров;
- формирование представлений о современных тенденциях развития технологии электроники

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Физико-химические процессы в технологии электронных средств» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений. Пререквизиты дисциплины: «Физика», «Химия», «Высшая математика», «Введение в проектирование и технологию электронных средств».

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП.

Код формируемых компетенций	Уровень освоения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций (показатели освоения компетенции)
1	2	3
ОПК-1	частичное	<b>Знать</b> физико-химические закономерности процессов, составляющих основу технологии электронных средств. <b>Уметь</b> применять физико-химические закономерности процессов для решения задач технологического характера. <b>Владеть</b> навыками анализа физических и химических явлений и эффектов, лежащих в основе технологических процессов, оценки их параметров.
ПК-1	частичное	<b>Знать</b> физические и математические модели процессов, составляющих основу технологии электронных средств. <b>Уметь</b> строить простейшие физические и математические модели технологических операций. <b>Владеть</b> навыками анализа физических и математических моделей базовых процессов в области макро-, микро - и нанотехнологий.

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа.

№ п/п	Наименование разделов и тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Объем учебной работы, с примене нием интеракт ивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС		
1	<b>Основы химической термодинамики технологических процессов</b>	3	1-5	10	6	6	20	4,4/20	
	Тема 1. Основные понятия термодинамики.		1	2			2	0,4/20	
	Тема 2 Постулаты и законы термодинамики.		2	2	2		2	0,8/20	
	Тема 3. Основы термодинамики растворов и неравновесных систем.		3	2		6	4	1,6/20	
	Тема 4. Фазовые равновесия в конденсированных системах.		4	2	4		10	1,2/20	
	Тема 5. Твердо- и жидкофазные взаимодействия в процессах пайки и сварки.		5	2			2	0,4/20	Рейтинг - контроль №1
2	<b>Физико-химические процессы формирования новой фазы на поверхности подложки.</b>		6 - 11	12	6	4	24	4,4/20	
	Тема 1. Физико-химические основы поверхностных процессов		6	2			2	0,4/20	
	Тема 2. Физико-химические основы термовакuumного испарения и осаждения материалов		7	2		4	6	1,2/20	
	Тема 3. Методы ионного распыления		8	2	2		4	0,8/20	
	Тема 4. Химические методы осаждения плёнок		9	2	2		4	0,8/20	
	Тема 5. Электролитические процессы		10	2	2		4	0,8/20	
	Тема 6. Физико-химические основы эпитаксиальных процессов		11	2			4	0,4/20	Рейтинг - контроль №2

3	<b>Физико-химические процессы удаления вещества с поверхности твердой фазы.</b>	12-14	6	2		12	1,6/20		
	Тема 1. Физико-химические процессы удаления загрязнений твердой фазы.	12	2	2		4	0,8/20		
	Тема 2. Химические методы травления.	13	2			4	0,4/20		
	Тема 3. Методы ионного и плазменного травления.	14	2			4	0,4/20		
4	<b>Процессы введения примесей в полупроводниковые материалы</b>	15-16	4	2	4	8	2/20		
	Тема 1. Закономерности и механизмы диффузии.	15	2		4	6	1,2/20		
	Тема 2. Физические основы ионной имплантации.	16	2	2		2	0,8/20		
5	<b>Физико-химические основы литографических процессов</b>	17-18	4	2	4	8	2,0/20		
	Тема 1. Воздействие излучения на актиночувствительные материалы.	17	2	2		4	0,8/20	Рейтинг - контроль №3	
	Тема 2. Основные процессы литографии.	18	2		4	4	1,2/20		
	Всего за семестр:	3	18	36	18	18	72	14,4/20	Зачет
	Наличие в дисциплине КП/КР				-				-
	Итого по дисциплине	3	18	36	18	18	72	14,4/20	Зачет

### Содержание лекционных занятий по дисциплине

#### Раздел 1. Основы химической термодинамики технологических процессов

##### *Тема 1. Основные понятия термодинамики*

Элементы термодинамики и термодинамический подход к описанию технологических процессов производства электронных средств. Технологический процесс как термодинамическая система. Внутренняя энергия системы. Закрытые и открытые системы. Гомогенные и гетерогенные системы.

##### *Тема 2. Постулаты и законы термодинамики*

Первый закон термодинамики. Равновесные и неравновесные процессы. Второй закон термодинамики. Понятие энтропии. Статистический характер второго закона термодинамики. Термодинамическая вероятность. Постулат Планка. Характеристические функции и термодинамические потенциалы системы.

##### *Тема 3. Основы термодинамики растворов и неравновесных систем*

Условия равновесия гетерогенных термодинамических систем. Правило фаз. Степени свободы. Диаграммы состояния систем. Однокомпонентные системы. Растворы. Состав пара растворов

##### *Тема 4. Фазовые равновесия в конденсированных системах.*

Растворимость твёрдых веществ. Кристаллизация из растворов. Диаграммы состояния бинарных систем с эвтектикой. Термодинамический анализ. Кривые охлаждения.

#### ***Тема 5. Твёрдо- и жидкофазные взаимодействия в процессах пайки и сварки***

Виды сварки по характеру физико-химического взаимодействия соединяемых материалов. Фазовые диаграммы бинарных систем соединяемых сваркой материалов. Характер физико-химического взаимодействия припоя с поверхностью паяемого материала. Типы диаграмм фазового равновесия систем при пайке.

### **Раздел 2. Физико-химические процессы формирования новой фазы на поверхности подложки**

#### ***Тема 1. Физико-химические основы поверхностных процессов***

Термодинамика чистой поверхности. Термодинамические параметры поверхности. Поверхностное натяжение. Абсорбционные процессы на поверхности твёрдых тел. Закономерности и природа адгезии. Термодинамика образования зародышей плёнки. Сила связи атомов с поверхностью, поверхностная миграция адсорбированных частиц.

#### ***Тема 2. Физико-химические основы термовакuumного испарения и осаждения материалов***

Испарение металлов в вакууме. Механизм испарения. Понятие о равновесном давлении пара, насыщенном паре. Температура испарения, скорость испарения. Испарение сплавов и химических соединений. Законы распределения конденсированного вещества на подложке. Электронно-лучевые и лазерные методы испарения.

#### ***Тема 3. Методы ионного распыления***

Структура тлеющего разряда. Коэффициент ионного распыления и его зависимость от материала мишени, энергии бомбардирующих мишень атомов, угла их падения, состояния поверхности и температуры мишени. Катодное, ионно-плазменное, магнетронное распыление.

#### ***Тема 4. Химические методы осаждения плёнок***

Кинетика гомогенных химических реакций. Константа скорости реакции. Энергия и механизмы активации. Химическое осаждение. Каталитические реакции в присутствии активаторов и сенсibilизаторов. Некаталитические реакции. Осаждение из паровой фазы. Полимеризация, химическое восстановление, разложение, окисление.

#### ***Тема 5. Электролитические процессы***

Электролитическая диссоциация. Химические процессы при электролизе. Количественные законы электролиза. Поляризаационные процессы при электролизе. Электрохимическое осаждение металлических плёнок. Электрохимическое анодирование. Электрохимическая коррозия металлов.

#### ***Тема 6. Физико-химические основы эпитаксиальных процессов***

Понятие эпитаксии. Гомоэпитаксия, гетероэпитаксия, гомоэпитаксия. Эпитаксия из газовой, жидкой и твердой фазы. Влияние технологических факторов на скорость роста эпитаксиальной плёнки. Молекулярно-лучевая эпитаксия.

### **Раздел 3. Физико-химические процессы удаления вещества с поверхности твердой фазы**

#### ***Тема 1. Физико-химические процессы удаления загрязнений твердой фазы***

Виды и источники загрязнений. Механические и химические загрязнения. Основные принципы технологии очистки. Классификация методов очистки поверхности. Основные процессы очистки полупроводниковых, диэлектрических и металлических поверхностей.

#### ***Тема 2. Химические методы травления***

Закономерности жидкостного травления. Скорость травления, селективное травление, локальное травление. Анизотропное травление. Термодинамика анизотропного травления. Газовое травление.

#### ***Тема 3. Методы ионного и плазменного травления***

Ионно-плазменное и плазмохимическое травление, реактивное ионно-плазменное травление, реактивное ионно-лучевое травление. Параметры процессов травления. Применение

#### **Раздел 4. Процессы введения примесей в полупроводниковые материалы**

##### **Тема 1. Закономерности и механизмы диффузии**

Термическая диффузия. Механизмы диффузии атомов в кристалле. Коэффициент диффузии примеси в кристалле. Уравнение Аррениуса. Физико-математические основы процессов диффузии. Законы Фика. Диффузия из ограниченного и неограниченного источников. Двухстадийная диффузия.

##### **Тема 2. Физические основы ионной имплантации**

Математическая модель процесса ионной имплантации. Распределение концентрации примесей при внедрении в мишень. Эффект каналирования. Аморфизация и рекристаллизация полупроводникового материала после имплантации.

#### **Раздел 5. Физико-химические основы литографических процессов**

##### **Тема 1. Воздействие излучения на актиночувствительные материалы**

Фотохимическое воздействие на вещество. Основные типы фотохимических реакций. Чувствительные к излучению материалы. Фоторезисты, рентгенорезисты, электронорезисты, ионорезисты. Типы и свойства резистов.

##### **Тема 2. Основные процессы литографии**

Операции нанесения, экспонирования, проявления фотолитографического процесса. Физические основы электронно-лучевой рентгено-лучевой, ионно-лучевой литографии. Лазерная микролитография. Голографическая литография.

### **Содержание практических занятий по дисциплине**

#### **Раздел 1. Основы химической термодинамики технологических процессов**

##### **Тема 2. Постулаты и законы термодинамики**

1. Законы термодинамики.
2. Постулат Планка.
3. Характеристические функции термодинамической системы.
4. Расчёты термодинамических функций: энтропии, внутренней энергии, энтальпии.

##### **Тема 4. Фазовые равновесия в конденсированных системах.**

1. Построение диаграммы состояния бинарных систем с эвтектикой.
2. Определение качественных составов эвтектик.
3. Определение количественных составов эвтектик.
4. Определение физического состояния системы заданного состава и температуры.
5. Определение температуры кристаллизации сплава заданного состава.
6. Определение состава первых выпавших кристаллов сплава заданного состава.
7. Расчёт масс кристаллизующихся компонентов (правило рычага).
8. Определение температуры начала плавления сплава заданного состава.

#### **Раздел 2. Физико-химические процессы формирования новой фазы на поверхности подложки**

##### **Тема 3. Методы ионного распыления**

1. Физико-химические основы и устройство рабочей камеры установки катодного распыления.
2. Физико-химические основы и устройство рабочей камеры установки ионно-плазменного распыления.
3. Физико-химические основы и устройство рабочей камеры установки магнетронного распыления.

4. Достоинства и недостатки методов ионного распыления вещества.

#### **Тема 4. Химические методы осаждения плёнок**

1. Кинетика гомогенных химических реакций.
2. Константа скорости реакции.
3. Химическое осаждение металлов из растворов.
4. Химическое осаждение меди из растворов.

#### **Тема 5. Электролитические процессы**

1. Законы электролиза.
2. Электрохимическое осаждение металлов.
3. Расчёт скорости осаждения металла
4. Использование метода в технологии ЭС.

### **Раздел 3. Физико-химические процессы удаления вещества с поверхности твердой фазы**

#### **Тема 1. Физико-химические процессы удаления загрязнений твердой фазы**

1. Виды и источники загрязнений.
2. Механические и химические загрязнения.
3. Классификация методов очистки поверхности.
4. Основные процессы очистки полупроводниковых, диэлектрических и металлических поверхностей.

### **Раздел 4. Процессы введения примесей в полупроводниковые материалы**

#### **Тема 2. Физические основы ионной имплантации**

1. Математическая модель процесса ионной имплантации.
2. Расчёт распределения концентрации примесей при внедрении в кристалл.
3. Эффект каналирования.

### **Раздел 5. Физико-химические основы литографических процессов**

#### **Тема 1. Воздействие излучения на актиночувствительные материалы**

1. Основные типы фотохимических реакций.
2. Чувствительные к излучению материалы.
3. Фоторезисты, рентгенорезисты, электронорезисты, ионорезисты.
4. Типы и свойства резистов.

## **Содержание лабораторных занятий по дисциплине**

### **Раздел 1. Основы химической термодинамики технологических процессов**

#### **Тема 3. Основы термодинамики растворов и неравновесных систем**

Лабораторная работа «Исследование диаграммы кипения двухкомпонентной системы» Построение и анализ диаграммы кипения двухкомпонентной системы. Определение температуры кипения раствора различного состава, состав пара, находящегося в равновесии с жидкой бинарной системой, кипящей при заданной температуре. Расчёт количеств компонентов в парах и жидкой фазе смеси заданного состава и температуры.

### **Раздел 2. Физико-химические процессы формирования новой фазы на поверхности подложки**

#### **Тема 2. Физико-химические основы термовакuumного испарения и осаждения материалов**

Лабораторная работа «Физико-химические основы термовакuumного испарения и осаждения материалов» Изучение влияние геометрии испарения на распределение пленки по толщине для различных типов испарителей и материалов. Определение скорости испарения вещества для заданных технологических режимов. Исследование распределения толщины пленок, создаваемых точечным и с малой поверхностью испарителями. Построение графика распределения плёнки на подложке по толщине.

#### **Раздел 4. Процессы введения примесей в полупроводниковые материалы**

##### **Тема 1. Закономерности и механизмы диффузии**

Лабораторная работа «Изучение процессов термической диффузии примесей в полупроводник». Изучение механизмов диффузии атомов в кристалле, основ теории процессов термической диффузии примесей. Освоение методики расчета распределения концентрации примесных атомов при диффузии из ограниченного и неограниченного источников. Ознакомление с методикой расчета параметров технологических режимов диффузии.

#### **Раздел 5. Физико-химические основы литографических процессов**

##### **Тема 2. Основные процессы литографии**

Лабораторная работа «Изучение метода фотолитографии» Изучение основных операций фотолитографии и их последовательности. Анализ фотохимических процессов в фоторезистах. Ознакомление с типами и основными параметрами фоторезистов, применяемыми в процессе фотолитографии материалами. Ознакомление с технологией изготовления фотошаблонов.

### **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

В преподавании дисциплины «Физико-химические процессы в технологии электронных средств» используются образовательные технологии как традиционные, так и с применением активных и интерактивных методов обучения. Занятия проводятся в мультимедиа-аудиториях оборудованных компьютерной техникой и средствами для демонстрации презентаций и других видео- и аудиоматериалов. Имеются подборки видеоматериалов и слайдов, текстовых файлов по тематике курса, доступные каждому студенту.

Активные и интерактивные методы обучения:

- Интерактивная лекция (раздел 1, темы 1, 2, 5; раздел 2, тема 1; раздел 3, тема 1; раздел 4, темы 1,2; раздел 5, тема 1);
- Групповая дискуссия (раздел 1, тема 4; раздел 2, темы 2,5; раздел 4, тема 1);
- Анализ ситуаций (раздел 3, тема 1);
- Разбор конкретных ситуаций (раздел 2, темы 2,5; раздел 4, тема 2).

### **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

#### **Текущий контроль успеваемости**

##### *Рейтинг - контроль №1*

1. Понятие химической термодинамики.
2. Первый закон термодинамики.
3. Закон Гесса.
4. Второй закон термодинамики.
5. Понятие энтропии.
6. Статистический характер 2 закона термодинамики.
7. Термодинамические характеристические функции.
8. Уравнение Гиббса – Гельмгольца.
9. Условия фазового равновесия гетерогенных систем.
10. Правило фаз Гиббса.
11. Диаграмма состояния однокомпонентной системы.
12. Диаграмма состояния бинарного сплава.



13. Правило рычага.
14. Основные типы диаграмм состояния бинарных систем.
15. Фазовые диаграммы бинарных систем соединяемых сваркой материалов.
16. Типы диаграмм фазового равновесия систем при пайке

*Рейтинг - контроль №2*

1. Закономерности и природа адгезии.
2. Жидкие растворы и их применение в технологии электронных средств.
3. Диаграмма кипения двойного раствора.
4. Термическое вакуумное напыление тонких плёнок. Кинетика процесса испарения.
5. Термическое вакуумное напыление. Конденсация пара на подложке.
6. Физико-химические основы катодного распыления.
7. Физико-химические основы ионно-плазменного распыления.
8. Физико-химические основы магнетронного распыления.
9. Кинетика гомогенных химических реакций. Константа скорости реакции.
10. Энергия и механизмы активации химических реакций.
11. Химическое осаждение металлов из паровой фазы.
12. Химическое осаждение металлов из жидкой фазы.
13. Химические процессы при электролизе.
14. Количественные законы электролиза.
15. Электрохимическое осаждение металлических плёнок.
16. Электрохимическая коррозия металлов.
17. Понятие эпитаксии. Виды эпитаксии. Молекулярно-лучевая эпитаксия.
18. Методы эпитаксии. Эпитаксия из газовой, жидкой и твердой фазы.
19. Влияние физико-химических факторов на структуру и свойства пленок.

*Рейтинг-контроль №3*

1. Виды и источники загрязнений поверхности.
2. Основные принципы технологии очистки.
3. Классификация методов очистки поверхности.
4. Закономерности жидкостного травления.
5. Селективное травление. Локальное травление. Анизотропное травление.
6. Ионно-плазменное и плазмохимическое травление.
7. Реактивное ионно-плазменное травление, реактивное ионно-лучевое травление.
8. Механизмы диффузии примесных атомов в твердых телах.
9. Законы диффузии.
10. Распределение примеси при диффузии.
11. Основные законы ионной имплантации.
12. Виды фотохимических реакций.
13. Сущность и виды литографии.
14. Типы фоторезистов.
15. Основные параметры фоторезистов.
16. Сущность основных операций фотолитографии.

**Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины (зачёт)**

*Вопросы для подготовки к зачёту*

1. Роль физико-химических процессов в технологии электронных средств.
2. Основные понятия термодинамики. Законы термодинамики.
3. Энтропия. Статистический характер 2-го закона. Постулат Планка.
4. Характеристические функции и термодинамические потенциалы системы.
5. Условие равновесия термодинамических систем. Правило фаз Гиббса.
6. Диаграммы состояния однокомпонентных систем.
7. Диаграммы состояния бинарной системы, компоненты которой растворимы в жидком состоянии и образуют механическую смесь в твёрдом. Правило рычага.
8. Основные типы диаграмм состояния бинарных систем.
9. Абсорбционные процессы на поверхности твёрдых тел. Закономерности и природа

- адгезии.
10. Термодинамические параметры поверхности. Поверхностное натяжение.
  11. Растворы и их применение в технологии ЭС. Диаграмма кипения двухкомпонентной системы.
  12. Виды сварки по характеру физико-химического взаимодействия соединяемых материалов. Фазовые диаграммы бинарных систем соединяемых сваркой материалов.
  13. Характер физико-химического взаимодействия припоя с поверхностью паяемого материала.
  14. Типы диаграмм фазового равновесия систем при пайке.
  15. Термическое вакуумное напыление тонких плёнок. Термодинамика процесса испарения.
  16. Термическое вакуумное напыление тонких плёнок. Кинетика процесса испарения. Законы Ламберта-Кнудсена.
  17. Термическое вакуумное напыление. Конденсация пара на подложке.
  18. Физико-химические основы катодного распыления.
  19. Физико-химические основы ионно-плазменного распыления.
  20. Магнетронное распыление вещества. Достоинства и недостатки методов ионного распыления.
  21. Физико-химические основы эпитаксии. Виды эпитаксии.
  22. Методы проведения эпитаксии.
  23. Особенности структуры и электрофизические свойства тонких пленок. Влияние технологических факторов на структуру и свойства пленок.
  24. Виды и источники загрязнений поверхности. Механические и химические загрязнения.
  25. Основные принципы технологии очистки. Классификация методов очистки поверхности.
  26. Закономерности жидкостного травления. Селективное травление. Локальное травление. Анизотропное травление.
  27. Закономерности газового травления.
  28. Ионно-плазменное и плазмохимическое травление. Сущность и основные параметры процессов.
  29. Реактивное ионно-плазменное травление, реактивное ионно-лучевое травление. Сущность и основные параметры процессов.
  30. Диффузия в твердых телах. Механизмы диффузии.
  31. Законы диффузии. Коэффициент диффузии и его температурная зависимость. Уравнение Аррениуса.
  32. Диффузия из ограниченного и неограниченного источников. Расчет распределения концентрации примеси и его графическая интерпретация.
  33. Использование диффузии для введения примеси в полупроводниковые кристаллы. Способы проведения диффузии.
  34. Основные закономерности ионной имплантации.
  35. Параметры процесса и оборудование для ионного легирования. Достоинства и недостатки ионного легирования.
  36. Теоретические основы химического осаждения тонких пленок. Термодинамика химических реакций.
  37. Теоретические основы химического осаждения тонких пленок. Кинетика химических процессов.
  38. Химическое осаждение плёнок из газовой фазы.
  39. Химическое осаждение металлических плёнок из растворов.
  40. Электролитическая диссоциация. Слабые и сильные электролиты.
  41. Электропроводность электролитов.
  42. Химические процессы при электролизе.
  43. Количественные законы электролиза. Поляризация.
  44. Электрохимическая коррозия металлов. Защита от коррозии.

45. Основные типы фотохимических реакций.
46. Сущность процесса литографии. Виды литографии.
47. Типы, свойства, основные параметры фоторезистов.
48. Основные операции фотолитографии.

### **Самостоятельная работа студентов**

Самостоятельная работа студентов включает изучение теоретического материала, выполнение заданий по тематике практических занятий, подготовку к защите лабораторных работ, выполнение расчётно-графической работы, подготовку к рейтинг - контролю. Текущий контроль освоения материала проводится на практических занятиях в процессе обсуждения изучаемых вопросов, путём экспресс-опроса на занятиях, проведения рейтинг - контроля, индивидуальных собеседований. Формы отчета студента перед преподавателем о результатах выполнения самостоятельной работы: конспект, расчётно-графическая работа, обзоры информации, графическое представление изученного учебного материала,

### **Вопросы для самостоятельной работы**

#### **Раздел 1. Основы химической термодинамики технологических процессов**

[основная литература:1,4; дополнительная литература:2]

1. Элементы термодинамики и термодинамический подход к описанию технологических процессов производства электронных средств.
2. Законы термодинамики.
3. Статистический характер второго закона термодинамики.
4. Характеристические функции и термодинамические потенциалы системы.
5. Условия равновесия гетерогенных термодинамических систем. \
6. Диаграммы состояния систем.
7. Диаграммы состояния однокомпонентных систем.
8. Растворы. Состав пара растворов.
9. Диаграммы состояния бинарных систем с эвтектикой.
10. Диаграммы состояния бинарных систем с образованием химических соединений.
11. Термодинамический анализ. Кривые охлаждения.
12. Виды сварки по характеру физико-химического взаимодействия соединяемых материалов.
13. Фазовые диаграммы бинарных систем соединяемых сваркой материалов.
14. Типы диаграмм фазового равновесия систем при пайке

#### **Раздел 2. Физико-химические процессы формирования новой фазы на поверхности подложки**

[основная литература: 1,3,4; дополнительная литература:1,3]

1. Термодинамические параметры поверхности.
2. Закономерности и природа адгезии.
3. Термодинамика образования зародышей плёнки.
4. Механизм испарения металлов в вакууме.
5. Испарение сплавов и химических соединений.
6. Законы распределения конденсированного вещества на подложке.
7. Электронно-лучевые и лазерные методы испарения.
8. Катодное, ионно-плазменное, магнетронное распыление.
9. Кинетика химических реакций.
10. Химическое осаждение из газовой фазы.
11. Химическое осаждение из жидкой фазы.
12. Химические процессы при электролизе.
13. Количественные законы электролиза.
14. Электрохимическая коррозия металлов.

15. Гомоэпитаксия, гетероэпитаксия, хемоэпитаксия.
16. Эпитаксия из газовой, жидкой и твердой фазы.
17. Молекулярно-лучевая эпитаксия.

### **Раздел 3. Физико-химические процессы удаления вещества с поверхности**

[основная литература: 2,3,4; дополнительная литература:1,4]

1. Виды и источники загрязнений.
2. Классификация методов очистки поверхности.
3. Основные процессы очистки полупроводниковых, диэлектрических и металлических поверхностей.
4. Закономерности жидкостного травления.
5. Анизотропное травление.
6. Газовое травление.
7. Ионно-плазменное и плазмохимическое травление.
8. Реактивное ионно-плазменное травление, реактивное ионно-лучевое травление.

### **Раздел 4. Процессы введения примесей в полупроводниковые материалы**

[основная литература: 2,3,4; дополнительная литература:4]

1. Механизмы диффузии атомов в кристалле.
2. Физико-математические основы процессов диффузии.
3. Диффузия из ограниченного и неограниченного источников.
4. Двухстадийная диффузия примеси.
5. Математическая модель процесса ионной имплантации.
6. Распределение концентрации примесей при внедрении в мишень.

### **Раздел 5. Физико-химические основы литографических процессов**

[основная литература: 2,3; дополнительная литература:3,4]

1. Фотохимическое воздействие на вещество.
2. Основные типы фотохимических реакций.
3. Фоторезисты, рентгенорезисты, электронорезисты, ионорезисты.
4. Типы и свойства фоторезистов.
5. Операции нанесения, экспонирования, проявления в фотолитографии.
6. Физические основы электронно-лучевой рентгено-лучевой, ионно-лучевой литографии.
7. Лазерная микролитография.
8. Голографическая литография.

### ***Расчётно-графическая работа***

Целью выполнения расчётно-графической работы является освоение методики анализа диаграмм фазового состояния многокомпонентных систем. Содержание работы: построение диаграммы фазового состояния сплава на основании данных о температуре начала кристаллизации двухкомпонентной системы; определение физического состояния системы заданного состава и температуры, составов химических соединений, качественных и количественных составов эвтектик. Работа оформляется на листах формата А4 (MS WORD, Times New Roman, кегль 14; 1,5 интервала).

Фонд оценочных средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ	
		Количество экземпляров изданий в библиотеке ВлГУ в соответствии с ФГОС ВО	Наличие в электронной библиотеке ВлГУ
1	2	3	4
Основная литература			
1. Иванов, А. А. Физико-химические основы технологии электронных средств: Учебное пособие [Электронный ресурс] / А. А. Иванов, Ю. В. Ряполова, В. С. Солдаткин. — Томск: ТУСУР, 2017. — 307 с.	2017		<a href="https://edu.tusur.ru/publications/6922">Z-Library (book.global)</a> <a href="https://edu.tusur.ru/publications/6922">https://edu.tusur.ru/publications/6922</a>
2. Воротынцев В.М., Базовые технологии микро- и нанoeлектроники / Воротынцев В. М., Скупов В. Д. - М.: Проспект, 2017. - 520 с. - ISBN 978-5-392-25297-8. - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента"	2017		<a href="https://www.studentlibrary.ru/ru/doc/ISBN9785392252978-SCN0000/000.html">https://www.studentlibrary.ru/ru/doc/ISBN9785392252978-SCN0000/000.html</a>
3. Родионов Ю.А. Технологические процессы в микро- и нанoeлектронике [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Родионов Ю.А.— Электрон. текстовые данные.— Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2019.— 352 с	2019		<a href="https://www.studentlibrary.ru/ru/doc/ISBN9785972903375-SCN0000/000.html">https://www.studentlibrary.ru/ru/doc/ISBN9785972903375-SCN0000/000.html</a>
4. Барыбин, А.А. Физико-технологические основы макро-, микро- и нанoeлектроники: учебное пособие для вузов. / А. А. Барыбин, В. И. Томилин, В. И. Шаповалов ; под общ. ред. А. А. Барыбина.— Москва: Физматлит, 2011.— 782 с. : ил., табл.— ISBN 978-5-9221-1321-2.	2011	6	<a href="https://www.bookvoed.ru/files/3515/11/06/55.pdf">https://www.bookvoed.ru/files/3515/11/06/55.pdf</a> <a href="https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922113212.htm">https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922113212.htm</a> 1
Дополнительная литература			

1. Родионов Ю.А., Производство гибридных интегральных схем: учебное пособие / Ю.А. Родионов. - М.: Инфра-Инженерия, 2019. - 300 с. - ISBN 978-5-9729-0460- 0.	2019		<a href="https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785972904600.htm">https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785972904600.htm</a> 1 :
2. Грызунов, В. И. Физическая химия: учеб. пособие / В. И. Грызунов, И. Р. Кузеев, Е. В. Пояркова, В. И. Полухина и др. - 3-е изд., стер. - Москва: ФЛИНТА, 2019. - 251 с. - ISBN 978-5-9765-1963-3.	2019		<a href="https://www.studentlibrary.ru/ru/doc/ISBN9785976519633-SCN0000/000.html">https://www.studentlibrary.ru/ru/doc/ISBN9785976519633-SCN0000/000.html</a>
3. Васильев В.Ю., Технология тонких пленок для микро- и наноэлектроники : учебное пособие / Васильев В.Ю. - Новосибирск : НГТУ, 2019. - 107 с. - ISBN 978-5-7782-3915- 9	2019		<a href="https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/73905/1/978-5-7996-2560-3_2019.pdf">https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/73905/1/978-5-7996-2560-3_2019.pdf</a>
4. Васильев В.Ю., Современное производство изделий микроэлектроники: учебное пособие / В.Ю. Васильев. - Новосибирск: НГТУ, 2019. - 88 с. - ISBN 978-5-7782-3907-4.	2019		<a href="https://www.studentlibrary.ru/ru/doc/ISBN9785972903375-SCN0000/000.html">https://www.studentlibrary.ru/ru/doc/ISBN9785972903375-SCN0000/000.html</a>

## 7.2. Периодические издания

1. Журнал «Физика и химия обработки материалов» (Электронная библиотека ВлГУ).
2. Журнал «Журнал физической химии».
3. Журнал «Российские нанотехнологии».
4. Журнал «Электрохимия».

## 7.3. Интернет-ресурсы

1. <https://vlsu.bibliotech.ru> Электронно-библиотечная система «Библиотех».
2. [www.studentlibrary.ru](http://www.studentlibrary.ru) Электронно-библиотечная система «Консультант студента».
3. [www.e.lanbook.com](http://www.e.lanbook.com) Электронно-библиотечная система «Лань».
4. [www.ZNANIUM.COM](http://www.ZNANIUM.COM) Электронно-библиотечная система «ZNANIUM.COM».
5. [www.iprbookshop.ru](http://www.iprbookshop.ru) Научно-образовательный ресурс ЭБС «IPRbooks».
6. [www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru) Электронно-библиотечная система «Академия».
7. [www.bibliorossica.com](http://www.bibliorossica.com) Электронно-библиотечная система «БиблиоРоссика».
8. [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru) Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн».
9. [www.normacs.ru](http://www.normacs.ru) Информационно-справочная система NORMA CS.
10. [www.cntd.ru](http://www.cntd.ru) справочная система в области технического регулирования и стандартизации «Кодекс»/»Техэксперт».

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий практического типа, групповых и индивидуальных

консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Лабораторные работы проводятся в мультимедиа-аудитории 324-3, оборудованной компьютерной техникой и средствами для демонстрации презентаций и других видео- и аудиоматериалов.

Перечень используемого лицензионного программного обеспечения: MS Office.

Рабочую программу составила Фролова Т.Н. Фролова

Рецензент

(представитель работодателя)

АО "Владимирский завод Электроприбор",  
заместитель главного инженера по подготовке  
производства – главный технолог Зайцев М.К.

Зайцев

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры "Биомедицинские и электронные системы и технологии"

Протокол № 1 от 30.08 2019 года

Заведующий кафедрой Сушкова Л.Т.

Сушкова

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 11.03.03 "Конструирование и технология электронных средств"

Протокол № 1 от 30.08 2019 года

Председатель комиссии Сушкова Л.Т.

Сушкова



## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

в рабочую программу дисциплины

«Физико-химические процессы в технологии электронных средств»

образовательной программы направления подготовки

11.04.03 "Конструирование и технология электронных средств",

направленность: бакалавриат

Номер изменения	Внесены изменения в части/разделы рабочей программы	Исполнитель ФИО	Основание (номер и дата распорядительного документа о внесении изменения)
1			
2			

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры "Биомедицинские и электронные системы и технологии", протокол № \_\_\_ от \_\_. \_\_. 202\_\_ г.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

*Подпись*

*ФИО*

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Физико-химические процессы в технологии электронных средств»**

Рабочая программа одобрена на 2020/21 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 31.08.20 года

Заведующий кафедрой  К. В. Татищевский

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_