

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)

Технология материалов электронной техники

Закреплена за подразделением

Кафедра технологии материалов электроники

Направление подготовки

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Квалификация

Инженер-исследователь

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

6 ЗЕТ

Часов по учебному плану

216

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 6

аудиторные занятия

68

самостоятельная работа

112

часов на контроль

36

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	6 (3.2)		Итого	
	Неделя 18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	17	17
Лабораторные	17	17	17	17
Практические	34	34	34	34
Итого ауд.	68	68	68	68
Контактная работа	68	68	68	68
Сам. работа	112	112	112	112
Часы на контроль	36	36	36	36
Итого	216	216	216	216

Программу составил(и):

дтн, профессор, Козлов ВладимирВалентинович; ктн, доцент, Якушко Егор Владимирович

Рабочая программа

Технология материалов электронной техники

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 Владимир Григорьевич

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

1.1	Цель - научить теоретическим основам математического описания и расчетам процессов технологии получения материалов электронной техники, современным понятиям термодинамики необратимых процессов и общим закономерностям кинетики гомогенных и гетерогенных процессов, в которых существенное значение имеют процессы тепло- и массопереноса в неподвижной и движущейся средах и закономерностям получения монокристаллов полупроводниковых материалов, а также процессов зародышеобразования, роста кристаллов.
-----	--

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Блок ОП:		Б1.В
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.1.1	Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники	
2.1.2	Актуальные проблемы современной электроники, нанoeлектроники и магнитоэлектроники	
2.1.3	Метрология, стандартизация и технические измерения в магнитоэлектронике	
2.1.4	Метрология, стандартизация и технические измерения в полупроводниковой электронике	
2.1.5	Статистическая физика	
2.1.6	Физические свойства кристаллов	
2.1.7	Электроника	
2.1.8	Методы математической физики	
2.1.9	Основы квантовой механики	
2.1.10	Практическая кристаллография	
2.1.11	Физика	
2.1.12	Физическая химия	
2.1.13	Электротехника	
2.1.14	Математика	
2.1.15	Органическая химия	
2.1.16	Информатика	
2.1.17	Химия	
2.1.18	Аналитическая геометрия	
2.1.19	Инженерная и компьютерная графика	
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:	
2.2.1	Дефекты в оптоэлектронных полупроводниковых приборах на широкозонных материалах	
2.2.2	Ионно-плазменная обработка материалов	
2.2.3	Компьютерные технологии проектирования процессов нанoeлектроники	
2.2.4	Материаловедение ферритов и родственных магнитных систем	
2.2.5	Методы исследования материалов и структур электроники	
2.2.6	Научно-исследовательская работа	
2.2.7	Научно-исследовательская работа	
2.2.8	Основы проектирования электронной компонентной базы. Пакеты прикладных программ	
2.2.9	Основы технологии электронной компонентной базы. Технология тонких пленок	
2.2.10	Полевые полупроводниковые приборы	
2.2.11	Полупроводниковая нанoeлектроника	
2.2.12	Приемники оптического излучения	
2.2.13	Физика импульсного отжига	
2.2.14	Физико-математические модели процессов нанoeлектроники	
2.2.15	Физические основы электроники	
2.2.16	Функциональная нанoeлектроника	
2.2.17	Магнитные измерения	
2.2.18	Математические модели технологических процессов получения магнитоэлектроники и радиокерамики	
2.2.19	Моделирование технологических процессов получения материалов электронной техники	
2.2.20	Нанoeлектроника полупроводниковых приборов и устройств	
2.2.21	Оборудование производства ферритовых материалов и радиокерамики	
2.2.22	Основы радиационной стойкости изделий электронной техники	
2.2.23	Основы технологии электронной компонентной базы	

2.2.24	Приборы квантовой и оптической электроники
2.2.25	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности
2.2.26	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности
2.2.27	Физика взаимодействия частиц и излучений с веществом
2.2.28	Элементы и устройства магнитоэлектроники
2.2.29	Методы математического моделирования
2.2.30	Методы характеристики полупроводниковых материалов и структур
2.2.31	Моделирование процессов и устройств полупроводниковой электроники
2.2.32	Оформление результатов научной деятельности
2.2.33	Силовые полупроводниковые приборы
2.2.34	Современные методы диагностики и исследования наногетероструктур
2.2.35	Физика квантоворазмерных полупроводниковых композиций
2.2.36	Физика наноструктур
2.2.37	Физико-химия и технология наноструктур
2.2.38	Высоковакуумное оборудование в нанoeлектронике
2.2.39	Компьютерные технологии в исследованиях материалов электроники и нанoeлектроники
2.2.40	Компьютерные технологии в научных исследованиях
2.2.41	Материалы и элементы спинтроники и спинволновой электроники
2.2.42	Мессбауэровская спектроскопия материалов магнитоэлектроники и микросистемной техники
2.2.43	Микросхемотехника
2.2.44	Молекулярно-пучковая и МОС-гидридная технологии
2.2.45	Неразрушающие методы контроля процессов формирования гетерокомпозиций
2.2.46	Планирование научной деятельности
2.2.47	Приборные структуры на некристаллических материалах
2.2.48	Приборные структуры на широкозонных полупроводниках
2.2.49	Приборы и устройства магнитоэлектроники
2.2.50	Приборы и устройства на основе наносистем
2.2.51	Программирование микроконтроллеров
2.2.52	Специальные вопросы физики магнитных явлений в конденсированных средах Часть 1
2.2.53	Технология наногетероструктур
2.2.54	Конструирование светоизлучающих устройств
2.2.55	Магнитные наносистемы, наноматериалы и нанотехнологии
2.2.56	Нормы и правила оформления ВКР
2.2.57	Оборудование для производства наногетероструктурных солнечных элементов
2.2.58	Проектирование и технология электронной компонентной базы
2.2.59	Технологии материалов для радиопоглощения и электромагнитного экранирования
2.2.60	Физика СВЧ полупроводниковых приборов
2.2.61	Электроника органических полупроводников (материалы, технологии, приборы)
2.2.62	Электронные и оптические свойства широкозонных соединений A2B6
2.2.63	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.64	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.65	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.66	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ОПК-4: Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности, проектировать и разрабатывать продукцию, процессы и системы, соответствующие профилю подготовки, разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения

Знать:

ОПК-4-31 Теорию тепло- и массопереноса, разработка новых процессов, проектирование и расчет процессов тепло- и массообмена получения материалов электронной техники

ПК-4: Способность обрабатывать результаты измерений опытных образцов изделий электронной техники

Знать:
ПК-4-31 Уравнения движения технологических сред, контроль свойств полупроводника после разных стадий обработки
ПК-1: Способность контролировать подготовку и техническое оснащение рабочих мест на участках производства изделий микроэлектроники
Знать:
ПК-1-31 Фазовые равновесия жидкость-пар, жидкость-твердое
УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, умение анализировать процессы и системы с использованием соответствующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов, применять системный подход для решения поставленных задач
Знать:
УК-1-31 Термодинамические закономерности, теория подобия
ПК-5: Способность проводить анализ и выбор перспективных технологических процессов при производстве изделий микроэлектроники
Знать:
ПК-5-31 Кинетические закономерности технологических процессов с определением областей протекания процессов (квазиравновесная, диффузионная, кинетическая)
ПК-4: Способность обрабатывать результаты измерений опытных образцов изделий электронной техники
Уметь:
ПК-4-У1 Выбор и обоснование процессов получения материалов электронной техники
ПК-5: Способность проводить анализ и выбор перспективных технологических процессов при производстве изделий микроэлектроники
Уметь:
ПК-5-У1 Определение влияния используемых и получаемых в технологическом процессе материалов на экологию окружающей среды
ПК-1: Способность контролировать подготовку и техническое оснащение рабочих мест на участках производства изделий микроэлектроники
Уметь:
ПК-1-У1 Контроль подготовки и техническое оснащение рабочих мест
ОПК-4: Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности, проектировать и разрабатывать продукцию, процессы и системы, соответствующие профилю подготовки, разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения
Уметь:
ОПК-4-У1 Конструирование аппаратурного оформления нового технологического процесса, не имеющего аналогов
УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, умение анализировать процессы и системы с использованием соответствующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов, применять системный подход для решения поставленных задач
Уметь:
УК-1-У1 Расчет параметров технологических процессов, оптимизация параметров процессов и обоснование принятых решений
Владеть:
УК-1-В1 Закономерности для описания тепло- и массообмена, подобия аппаратов, фазовых равновесий и движения жидкости и газа в реакторе или аппаратуре
ПК-5: Способность проводить анализ и выбор перспективных технологических процессов при производстве изделий микроэлектроники
Владеть:
ПК-5-В1 Анализ и метод решение задач технологии получения материалов электронной техники с заданными структурой и свойствами
ПК-1: Способность контролировать подготовку и техническое оснащение рабочих мест на участках производства изделий микроэлектроники
Владеть:
ПК-1-В1 Метод выбора, обоснования и расчета вида нагрева при реализации заданного технологического процесса

ОПК-4: Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности, проектировать и разрабатывать продукцию, процессы и системы, соответствующие профилю подготовки, разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения

Владеть:

ОПК-4-В1 Сбор и анализ современными методиками научной литературы в области технологических процессов микро- и нанoeлектроники, а также фазовых равновесий, критериальных уравнений тепло и массообмена

ПК-4: Способность обрабатывать результаты измерений опытных образцов изделий электронной техники

Владеть:

ПК-4-В1 Метод решения задач масштабного перехода от лабораторной установки к промышленному оборудованию

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
	Раздел 1. Тепло и массообмен процессов получения материалов электронной техники. Определение области протекания процесса и возможности его расчета							
1.1	Технологические условия для синтеза наноматериалов. Дифференциальные уравнения процессов массо- и теплообмена. Определение области протекания процесса и возможности его расчета /Лек/	6	3	УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-4-31 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1	Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.6 Л2.7 Л2.8Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5		КМ1,К М2	Р1,Р2
1.2	Определение минимального числа тарелок ректификационной колонны и минимального флегмового числа в процессе разделения смеси заданного состава. /Лаб/	6	3	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1 Л1.4 Л1.5Л2.15 Л2.16 Л2.18Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5		КМ3	Р3,Р4,Р 5
1.3	Расчет параметров радиационно-стимулируемой диффузии. Расчет режимов движения технологических сред. /Пр/	6	6	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.4 Л1.5Л2.8 Л2.10 Л2.11 Л2.13Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5		КМ4	Р6,Р7
1.4	Расчет процесса нагрева тонкого тела /Ср/	6	30	ПК-5-31 ПК-5-У1 ПК-5-В1	Л1.1 Л1.5Л2.12 Л2.13 Л2.14 Л2.15Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5		КМ5	Р8,Р9,Р 10
	Раздел 2. Процессы очистки веществ, основанные на фазовом переходе жидкость-пар, жидкость-твердое							

2.1	Особенности использования особо чистых материалов. Процесс ректификации. Кинетика массообмена в ректификационных колоннах. Распределение примеси в кристаллах, полученных методом зонной перекристаллизации /Лек/	6	3	УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-4-31 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1	Л1.1 Л1.4 Л1.5Л2.4 Л2.11 Л2.14 Л2.15Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5		КМ1	Р1,Р2
2.2	Оптимизация параметров процесса ионного обмена /Лаб/	6	3	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.3 Л2.15 Л2.18Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5		КМ3	Р3,Р4,Р5
2.3	Методика расчета передачи тепла тепловым излучением между телами. Расчет параметров процесса зонной плавки. /Пр/	6	7	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.4 Л1.5Л2.15 Л2.16 Л2.17 Л2.18Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5		КМ4	Р6,Р7
2.4	Термодинамика процессов получения материалов электронной техники. /Ср/	6	24	ПК-5-31 ПК-5-У1 ПК-5-В1	Л1.1 Л1.4Л2.8 Л2.10 Л2.12 Л2.16Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5		КМ2,КМ5	Р8,Р9,Р10
Раздел 3. Теория подобия процессов. Выращивание монокристаллов полупроводников методом Чохральского								
3.1	Теория подобия процессов. Классификация кристаллизационных процессов выращивания монокристаллов полупроводников. Получение методом Чохральского монокристаллов с равномерным распределением примеси по длине при подпитке расплавом /Лек/	6	4	УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-4-31 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1 ПК-1-31	Л1.1 Л1.4 Л1.5Л2.9 Л2.10 Л2.11 Л2.12 Л2.13 Л2.14Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5		КМ1	Р1,Р2
3.2	Метод разделения компонентов с помощью ректификации. /Лаб/	6	4	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1Л2.9 Л2.10 Л2.11 Л2.12 Л2.13 Л2.14Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5		КМ3	Р3,Р4,Р5

3.3	Кинетика процессов получения особо чистых веществ. /Пр/	6	7	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1	Л1.1Л2.8 Л2.9 Л2.10Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5		КМ4	Р6,Р7
3.4	Расчет толщины динамического, диффузионного и теплового пограничных слоев /Ср/	6	19	ПК-5-31 ПК-5-У1 ПК-5-В1	Л1.1 Л1.4 Л1.5Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11 Л2.12Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5		КМ2,К М5	Р8,Р9,Р 10
Раздел 4. Математическое моделирование процессов получения материалов электроники								
4.1	Основные закономерности процессов дистилляции и сублимации. Кинетика массообмена в ректификационных колоннах. Ректификация многокомпонентных систем. /Лек/	6	4	УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-4-31 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1	Л1.1 Л1.4 Л1.5Л2.3 Л2.4 Л2.13 Л2.14 Л2.15Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5		КМ1	Р1,Р2
4.2	Процессы перегонки веществ /Лаб/	6	4	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1 Л1.6 Л1.7Л2.10 Л2.11 Л2.12 Л2.15Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5		КМ3	Р3,Р4,Р 5
4.3	Расчет параметров процесса ректификации /Пр/	6	7	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.4 Л1.5Л2.8 Л2.9 Л2.10 Л2.11Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5		КМ4	Р6,Р7
4.4	Методика расчета передачи тепла теплопроводностью через многослойную стенку /Ср/	6	19	ПК-5-31 ПК-5-У1 ПК-5-В1	Л1.1 Л1.4 Л1.5Л2.10 Л2.11 Л2.15Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5		КМ2,К М5	Р8,Р9,Р 10
Раздел 5. Технологические стадии подготовки полупроводниковых подложек								
5.1	Кинетика гомогенных и гетерогенных процессов. Технологические стадии подготовки полупроводниковых подложек /Лек/	6	3	УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-4-31 ОПК-4-У1 ОПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.4 Л1.5Л2.3 Л2.4 Л2.10 Л2.11Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5		КМ1	Р1,Р2

5.2	Конструкция установки для выращивания монокристаллов полупроводников методом Чохральского. Использование программного обеспечения в системе автоматического управления ростом кристалла по методу Чохральского. /Лаб/	6	3	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1	Л1.1 Л1.4 Л1.5Л2.5 Л2.8 Л2.9 Л2.10Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5		КМ3	Р3,Р4,Р5
5.3	Расчет теплового узла установки для выращивания монокристаллов кремния методом Чохральского. /Пр/	6	7	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.4 Л1.5Л2.5 Л2.8 Л2.9 Л2.10Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5		КМ4	Р6,Р7
5.4	Методика расчета привода перемещения затравки в установке выращивания монокристаллов по методу Чохральского /Ср/	6	20	ПК-5-31 ПК-5-У1 ПК-5-В1	Л1.1 Л1.4 Л1.5Л2.5 Л2.8 Л2.9 Л2.10Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5		КМ2,КМ5	Р8,Р9,Р10

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	Тест	ОПК-4-31;ОПК-4-У1;ОПК-4-В1	Современный этап развития электроники. Нанoeлектроника Актуальность нанотехнологий. Планарная технология Теплообмен. Тепловой поток. Плотность теплового потока Теплообмен в условиях стационарного и нестационарных условий. Температурное поле Способы переноса теплоты Теплообмен. Закон Фурье Теплообмен с помощью конвекции Вынужденная и свободная конвекция Диффузия. 1 и 2 законы Фика. Химическое и фазовое равновесия Изменение энтропии, внутренней энергии и энергии Гиббса для равновесного состояния Стабильное, нейтральное и метастабильное равновесия Условия термодинамического равновесия
КМ2	Контрольная работа	УК-1-31;УК-1-У1;УК-1-В1	Внутренняя энергия для изолированной системы Закон сохранения энергии в термодинамике Условия физико-химического равновесия Термодинамические потенциалы Особенности свойств изолированной системы для применения в технологии Особенности энтропии термодинамической системы Химический потенциал процесса Интенсивные и экстенсивные величины Обратимый и необратимый процессы процесс Фазовое и химическое равновесия Термодинамическая функция энергии Гиббса Зависимости энергии Гиббса от температуры и давления

КМ3	Коллоквиум	ПК-1-31;ПК-1-У1;ПК-1-В1	<p>Типы фазовых диаграмм</p> <p>Фазовые и химические равновесия в технологических процессах</p> <p>Агрегатное состояние. Фаза.</p> <p>Правило фаз Гиббса</p> <p>Моновариантное и невариантное равновесия</p> <p>Фазовые диаграммы состояния двухкомпонентных систем</p> <p>Правило фаз Гиббса для затвердевания чистого металла</p> <p>Фазовая диаграмма с неограниченной растворимостью компонентов</p> <p>Область твердых растворов на фазовой диаграмме</p> <p>Фазовая диаграмма с эвтектикой</p> <p>Определение количественных соотношений между фазами по правилу рычага</p> <p>Классификация кристаллизационных процессов выращивания монокристаллов полупроводников.</p> <p>Получение методом Чохральского монокристаллов с равномерным распределением примеси по длине при подпитке расплавом</p>
КМ4	Тест	ПК-4-31;ПК-4-У1;ПК-4-В1	<p>Уравнения движения технологических сред, контроль свойств полупроводника после разных стадий обработки</p> <p>Ориентация монокристаллического слитка (рентгеновский гониометр)</p> <p>Резка монокристалла на пластины</p> <p>Контроль параметров пластин после резки</p> <p>Параметры микрошероховатости поверхности</p> <p>Нарушенный слой после резки</p> <p>Шлифование пластин</p> <p>Различные способы выражения концентрации растворов</p> <p>Химико-механическое полирование</p> <p>Очистка и отмывка поверхности подложек от механических, органических и неорганических загрязнений</p>
КМ5	Контрольная работа	ПК-5-31;ПК-5-У1;ПК-5-В1	<p>Динамический, концентрационный и тепловой пограничные слои.</p> <p>Жидкостная обработка пластин. Обезжиривание в органических растворителях</p> <p>Обезжиривание пластин в активных средах. Химическое травление</p> <p>Химическое травление пластин в трехкомпонентных составах.</p> <p>Треугольная диаграмма трех компонентного раствора</p> <p>Химико-динамическое полирование подложек в жидкой среде.</p> <p>Селективное химическое травление подложек. Химическая обработка пластин модифицированная с помощью ультразвуковой обработки</p> <p>Сухая физическая и химическая обработки пластин</p> <p>Финишная очистка подложек. Сушка пластин.</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. Исследование процесса ректификации. Определение минимального числа тарелок ректификационной колонны и минимального флегмового числа в процессе разделения смеси заданного состава.	ОПК-4-В1;ОПК-4-У1	Ректификация - эффективный метод очистки полупроводникового соединения. Непрерывный процесс ректификации. Коэффициент распределения К0. Расчет числа теоретических тарелок, необходимое для достижения заданной степени разделения.
P2	Лабораторная работа №2. Процесс нагрева тел	УК-1-У1;УК-1-В1	Процессы нагрева "массивных" и "тонких" тел. Определение критерия Био. Критерий Фурье. Относительная температура. Молярная теплоемкость при постоянном объеме. Расчет процесса нагрева "тонкого" тела.

P3	Лабораторная работа №3. Динамический, диффузионный, и тепловой пограничные слои	ПК-1-У1;ПК-1-В1	Использование понятий динамического, диффузионного, и теплового пограничных слоев в технологии материалов электронной техники. Определение динамического пограничного слоя. Расчет диффузионного пограничного слоя. Гетерогенные процессы в диффузионном режиме.
P4	Лабораторная работа №4. Процессы перегонки веществ		Процесс перегонки. Простая перегонка и ректификация. Закон Коновалова. Зависимость равновесного давления паров воды и диэтилового эфира от температуры. Перегонка при атмосферном давлении. Зависимость объема дистиллята от температуры перегонки.
P5	Лабораторная работа №5. Конструкция установки для выращивания монокристаллов полупроводников методом Чохральского.		Равновесный коэффициент распределения компонентов. Определение равновесного коэффициента распределения. Эффективный коэффициент распределения. Методы выращивания кристаллов. Измерение значения температуры расплава и температурного градиента нагревательного элемента. Процессы затравления и выращивания монокристалла
P6	Практическая работа №1. Расчет толщины динамического, диффузионного и теплового пограничных слоев.		Процессы переноса характеризуются толщинами динамического, диффузионного и теплового пограничных слоев. Расчет динамического пограничного слоя. Гидродинамический начальный участок. Обтекание плоской пластины. Расчет динамического пограничного слоя для вращающегося сосуда с жидкостью.
P7	Практическая работа №2. Расчет процесса нагрева тел.		Расчет процессов нагрева "массивных" и "тонких" тел. Определение критерия Био. Критерий Фурье. Относительная температура. Молярная теплоемкость при постоянном объеме. Расчет процесса нагрева "тонкого" тела.
P8	Практическая работа №3. Расчет газодинамики в трубчатом реакторе.		Использование проточных реакторов в технологии эпитаксиального выращивания. Уравнение неразрывности потока для несжимаемой среды для стационарного потока. Критерий Рейнольдса. Ламинарный и турбулентный режимы течения газа. Расчет коэффициента динамической вязкости.
P9	Практическая работа №4. Расчет параметров процесса ректификации		Методы очистки полупроводникового соединения. Непрерывный процесс ректификации. Коэффициент распределения K_0 . Расчет числа теоретических тарелок, необходимое для достижения заданной степени разделения.
P10	Практическая работа №5. Расчет коэффициентов динамической и кинематической вязкости и взаимодиффузии.		Динамический и кинематический коэффициент вязкости. Коэффициент взаимодиффузии. Расчет коэффициента динамической вязкости. Расчет коэффициента кинематической вязкости. Расчет коэффициента взаимодиффузии двухкомпонентной газовой смеси.

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

Экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса и задачу. Задача типовая и решается в процессе прохождения учебного курса.

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

Удовлетворительная оценка за экзамен выставляется, если студент ответил на один вопрос или решил задачу; хорошо - за два правильных ответа или решение задачи и один правильный ответ; отлично - за три правильных ответа.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Соколов И. А.	Расчеты процессов полупроводниковой технологии: Учеб. пособие для вузов	Библиотека МИСиС	М.: Металлургия, 1994

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.2	Резников А. Н., Резников Л. А.	Тепловые процессы в технологических системах: учебник для машиностроит. спец. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Машиностроение, 1990
Л1.3	Кожитов Лев Васильевич, Крапухин Всеволод Валерьевич, Маренкин Сергей Федорович, Тимошина Галина Георгиевна, Кожитов Лев Васильевич	Технология материалов электронной техники: Лаб. практикум	Электронная библиотека	М.: Учеба, 2004
Л1.4	Крапухин В. В., Соколов И. А., Кузнецов Г. Д.	Технология материалов электронной техники: Теория процессов полупроводниковой технологии: Учебник для вузов	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 1995
Л1.5	Крапухин В. В., Соколов И. А., Кузнецов Г. Д.	Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов: Учебник для студ. вузов по спец. 'Технология спец. материалов электронной техники'	Библиотека МИСиС	М.: Metallurgy, 1982
Л1.6	Крапухин Всеволод Валерьевич, Соколов И. А., Крапухин Всеволод Валерьевич	Технология полупроводниковых материалов: Разд.: Расчеты оборудования полупроводникового производства: учеб. пособие для курсового проектирования	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1979
Л1.7	Соколов И. А., Крапухин Всеволод Валерьевич	Теоретические основы технологии полупроводниковых материалов: Разд.: Фазовые равновесия в технологии полупроводниковых соединений на границе фаз: Учеб. пособие для студ. спец. 0604, 0643	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1987

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Неволин В. К.	Квантовая физика и нанотехнологии	Электронная библиотека	Москва: РИЦ Техносфера, 2013
Л2.2	Солнцев Ю. П., Пряхин Е. И., Вологжанина С. А., Петкова А. П., Солнцев Ю. П.	Нанотехнологии и специальные материалы: учебное пособие	Электронная библиотека	Санкт-Петербург: Химиздат, 2020
Л2.3	Романков П. Г., Фролов В. Ф., Флисюк О. М.	Массообменные процессы химической технологии: учебное пособие	Электронная библиотека	Санкт-Петербург: Химиздат, 2020
Л2.4	Клинов А. В., Мухаметзянова А. Г.	Математическое моделирование химико-технологических процессов: учебное пособие	Электронная библиотека	Казань: Казанский государственный технологический университет, 2009

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.5	Муромцев Д. Ю., Белоусов О. А.	Компьютерные технологии для расчёта тепловых режимов и механических воздействий: учебное пособие	Электронная библиотека	Тамбов: Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), 2012
Л2.6	Каменев С. В., Романенко К. С.	Технологии аддитивного производства: учебное пособие	Электронная библиотека	Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2017
Л2.7	Носков Ф. М., Масанский О. А., Манушкина М. М., Зограф Ф. Г., Лыткина С. И.	История науки о материалах и технологиях: учебное пособие	Электронная библиотека	Красноярск: Сибирский федеральный университет (СФУ), 2016
Л2.8	Гайнуллин Р. Н., Герке А. Р., Лира А. В.	Основы контроля давления и температуры в технологических процессах: учебно-методическое пособие	Электронная библиотека	Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2018
Л2.9	Хабляян М. Х., Саксаганский Г. Л., Бурмистров А. В.	Вакуумная техника: оборудование, проектирование, технологии, эксплуатация: учебное пособие	Электронная библиотека	Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2016
Л2.10	Родионов Ю. А.	Технологические процессы в микро- и нанoeлектронике: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2019
Л2.11	Смычѣк М. А.	Технологические процессы в микро- и нанoeлектронике: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2019
Л2.12	Дубровский В. Г.	Теоретические основы технологии полупроводниковых наноструктур: учебное пособие	Электронная библиотека	Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2019
Л2.13	Нашельский А. Я.	Технология спецматериалов электронной техники: Учеб. пособие для техникумов по спец. 2001 'Технология материалов электрон. техники'	Библиотека МИСиС	М.: Металлургия, 1993
Л2.14	Костиков Валерий Иванович	Физико-химические основы технологии композиционных материалов. Теоретические основы процессов создания композиционных материалов: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. 150100 - Металлургия	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 2011
Л2.15	Чистяков Ю. Д., Райнова Ю. П.	Физико-химические основы технологии микроэлектроники: Учеб. пособие для вузов по спец. 'Полупроводники и диэлектрики', 'Полупровод. и микроэлектрон. приборы' и 'Технология спец. материалов электрон. техники'	Библиотека МИСиС	М.: Металлургия, 1979
Л2.16	Чупятова Людмила Платоновна, Копецкий Чеслав Васильевич	Физико-химия и технология поверхности: Разд.: Строение границ зерен: курс лекций для спец. 11.05	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1988

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.17	Либенсон Герман Абрамович, Педос Сергей Иванович, Шуменко Владимир Николаевич, Либенсон Герман Абрамович	Материаловедение и технология композиционных материалов: Лаб. практикум	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1992
Л2.18	Полистанский Юрий Григорьевич, Александрова Е. А.	Физическая химия и технология полупроводниковых материалов и элементов микроэлектроники: Метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию для студ. спец. 0643, 0604	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1986

6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Юдин Г. Г., Щегольков Н. Ф.	Методические указания для самостоятельной работы студентов очного отделения физико-математического и инженерно-физического факультетов по химии: методическое пособие	Электронная библиотека	Елец: Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина, 2010
Л3.2	Корнеев А. А., Семенов А. В., Чулкова Г. М.	Специальный лабораторный практикум по нанoeлектронике: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва: Московский педагогический государственный университет (МПГУ), 2018
Л3.3	Григорьев Б. В., Зайцев Е. В.	Метрология и физико- технические измерения: учебно-методическое пособие к лабораторным работам для студентов II курса направлений 16.03.01 «Техническая физика», 15.03.06 «Мехатроника и робототехника», 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»: учебно-методическое пособие	Электронная библиотека	Тюмень: Тюменский государственный университет, 2017
Л3.4	Григорьев Б. В., Никулин С. Г., Зайцев Е. В.	Основы математической обработки результатов физико-технических измерений: учебно- методическое пособие для студентов естественно- научных направлений: учебно-методическое пособие	Электронная библиотека	Тюмень: Тюменский государственный университет, 2018

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	nano	https://nano.nature.com
Э2	SpringerMaterials	https://materials.springer.com
Э3	Royal Society of Chemistry	https://pubs.rsc.org/en/journals
Э4	ScienceDirect	www.sciencedirect.com
Э5	Scopus	www.scopus.com

6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Win Pro 10 32-bit/64-bit
П.2	Физическая химия
П.3	ANSYS Academic Research CFD

6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

И.1	Nano (https://nano.nature.com)
И.2	SpringerMaterials (https://materials.springer.com)
И.3	Royal Society of Chemistry (https://pubs.rsc.org/en/journals)
И.4	ScienceDirect (www.sciencedirect.com)
И.5	Scopus (www.scopus.com)

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, ПК с 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-428	Учебная аудитория	4 лабораторные установки, установка для роста углеродных нанотрубок методом PECVD, печь ИК нагрева MIPA-5000, в том числе: доска учебная, монитор, системный блок, комплект учебной мебели на 20 посадочных мест
К-431	Лаборатория «Материалов оптоэлектроники»:	спектрофотометр, компьютеры со специальным программным обеспечением для проведения занятий по моделированию, комплект лабораторного оборудования, комплект учебной мебели на 6 посадочных мест

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Для изучения дисциплины рекомендуется изучать тему занятия до его проведения, используя литературу, указанную в разделе Содержание.