

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 12.05.2023 17:25:05

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 получения монокристаллов

Закреплена за подразделением

Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков

Направление подготовки

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ

Профиль

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

4 ЗЕТ

Часов по учебному плану

144

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 6

аудиторные занятия

68

самостоятельная работа

40

часов на контроль

36

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	6 (3.2)		Итого	
	18			
Неделя	18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	34	34	34	34
Практические	34	34	34	34
Итого ауд.	68	68	68	68
Контактная работа	68	68	68	68
Сам. работа	40	40	40	40
Часы на контроль	36	36	36	36
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

к.т.н., доц., Быков А.С.

Рабочая программа

Технология получения монокристаллов

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 22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ (приказ от 02.04.2015 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, 22.03.01-БМТМ-22.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков

Протокол от г., №

Руководитель подразделения А.Р. Оганов

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

1.1	Научить основным необходимым навыкам анализа технологических операций по выращиванию объемных монокристаллов полупроводников и диэлектриков для квантовой электроники, оптики и акустики, управления процессами роста и повышения физической и химической однородности материалов и изделий функциональной нанoeлектронной техники. Научить использовать теории фазовых переходов и возможности управления методами получения монокристаллов для получения материалов с заданными характеристиками структуры и химического состава.
-----	---

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.13
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.1.1	Основы технологии получения материалов	
2.1.2	Процессы получения и обработки материалов	
2.1.3	Технология материалов электроники	
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:	
2.2.1	Металловедение и термическая обработка металлов	
2.2.2	Фазовые и структурные изменения при формировании материалов и эпитаксиальных структур	
2.2.3	Физика прочности и механические свойства материалов	
2.2.4	Физическое материаловедение сплавов с особыми магнитными свойствами, часть 1. Магнитно-мягкие сплавы	
2.2.5	Атомная и электронная структура поверхности и межфазных границ	
2.2.6	Композиционные и керамические материалы	
2.2.7	Объемные наноматериалы	
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	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.11	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.12	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	
2.2.13	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	
2.2.14	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	
2.2.15	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	
2.2.16	Структура и свойства функциональных наноматериалов	

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ПК-4: Способен проводить исследования при разработке технологических процессов
Знать:
ПК-4-31 Закономерности влияния технологических факторов процесса легирования на химический и фазовый состав монокристаллов полупроводников и диэлектриков
Уметь:
ПК-4-У2 Производить выбор метода роста в зависимости от физико-химической и физической природы получаемого материала
ПК-4-У1 Производить расчет необходимой концентрации легирующей примеси и параметров роста для получения кристалла с заданным распределением примеси
Владеть:
ПК-4-В1 Методикой расчета основных процессов, протекающих в ходе получения монокристаллов полупроводников и диэлектриков

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. 1. Исторические предпосылки и развитие учения о кристаллизации и росте кристаллов заданного состава и структуры							
1.1	Ознакомление со структурой курса. Исторические предпосылки и развитие учения о кристаллизации и росте кристаллов заданного состава и структуры. Обзор ключевых событий и персоналий, внесших весомый вклад в развитие теории и методов роста монокристаллов. /Лек/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
1.2	Освоение теоретического материала раздела /Ср/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
	Раздел 2. 2. Термодинамика процессов кристаллизации							
2.1	Понятие фазового равновесия, движущих сил кристаллизации, состояния системы и направления протекания реакции /Лек/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
2.2	Термодинамика процессов кристаллизации /Пр/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р1
2.3	Освоение теоретического материала раздела /Ср/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
	Раздел 3. 3. Кинетика процессов кристаллизации							
3.1	Процессы гомогенного (классическая и неклассическая модель) и гетерогенного зародышеобразования, основы понятия поверхностной энергии, скорость кристаллизации /Лек/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
3.2	Расчеты кинетических параметров процесса кристаллизации и скорости кристаллизации /Пр/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р2
3.3	Освоение теоретического материала раздела /Ср/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
	Раздел 4. 4. Теплоперенос в процессе кристаллизации							

4.1	Понятие теплообмена, теплопроводность, основные модели описание процессов теплопереноса /Лек/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
4.2	Теплоперенос в процессе кристаллизации /Пр/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р3
4.3	Освоение теоретического материала раздела /Ср/	6	3	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
Раздел 5. 5. Массоперенос в процессе кристаллизации								
5.1	Основы гидродинамики, диффузионного и конвективного переноса массы в ходе кристаллизации /Лек/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
5.2	Массоперенос в процессе кристаллизации /Пр/	6	4	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р4
5.3	Освоение теоретического материала раздела /Ср/	6	4	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
Раздел 6. 6. Фронт кристаллизации								
6.1	Процессы теплообмена на фронте кристаллизации. Концепция граничных слоев. Лимитирующие стадии кристаллизации, устойчивость фронта кристаллизации. /Лек/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
6.2	Фронт кристаллизации /Пр/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р5
6.3	Освоение теоретического материала раздела /Ср/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
Раздел 7. 7. Поверхность и поверхностная энергия. Модели роста кристаллов в условиях, близких к равновесию								
7.1	Поверхность реального кристалла, анизотропия поверхностной энергии, модели и принципы роста кристаллов в условиях, близких к равновесным /Лек/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	

7.2	Поверхность и поверхностная энергия. Модели роста кристаллов в условиях, близких к равновесию /Пр/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р6
7.3	Освоение теоретического материала раздела /Ср/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
	Раздел 8. 8. Модели и механизмы роста кристаллов							
8.1	Понятие адатома, кинетика атомов на поверхности, молекулярно-кинетическая теория и механизмы роста кристаллов /Лек/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
8.2	Модели и механизмы роста кристаллов /Пр/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р7
8.3	Освоение теоретического материала раздела /Ср/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
	Раздел 9. 9. Распределение примеси в системе кристалл-расплав/раствор							
9.1	Понятие равновесного и эффективного коэффициентов распределения примеси и возможности управления его величиной /Лек/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
9.2	Распределение примеси в системе кристалл-расплав/раствор /Пр/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р8
9.3	Освоение теоретического материала раздела /Ср/	6	3	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
	Раздел 10. 10. Физико-химические и физические особенности выбора метода роста кристаллов							
10.1	Классификация методов роста кристаллов. Физико-химические и физические особенности выбора метода роста кристаллов /Лек/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
10.2	Физико-химические и физические особенности выбора метода роста кристаллов /Пр/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р9

10.3	Освоение теоретического материала раздела /Ср/	6	3	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
	Раздел 11. 11. Особенности выращивания кристаллов из растворов/раствор-расплавов							
11.1	Особенности выращивания кристаллов из растворов/раствор-расплавов. Особенности и виды методов роста из раствора. Гидротермальный синтез. /Лек/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
11.2	Особенности выращивания кристаллов из растворов/раствор-расплавов /Пр/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р10
11.3	Освоение теоретического материала раздела /Ср/	6	3	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
	Раздел 12. 12. Метод Вернейля							
12.1	Метод Вернейля. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков. /Лек/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
12.2	Метод Вернейля. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков. /Пр/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р11
12.3	Освоение теоретического материала раздела /Ср/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
	Раздел 13. 13. Метод Наккена-Киропулоса							
13.1	Метод Наккена-Киропулоса. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков. /Лек/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
13.2	Метод Наккена-Киропулоса. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков. /Пр/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р12

13.3	Освоение теоретического материала раздела /Ср/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
	Раздел 14. 14. Методы направленной кристаллизации							
14.1	Методы направленной кристаллизации. Методы Обреимова-Шубникова, Бриджмена-Стокбаргера, Багдасарова. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков. /Лек/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
14.2	Методы направленной кристаллизации. Методы Обреимова-Шубникова, Бриджмена-Стокбаргера, Багдасарова. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков. /Пр/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р13
14.3	Освоение теоретического материала раздела /Ср/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
	Раздел 15. 15. Метод бестигельной зонной плавки							
15.1	Метод бестигельной зонной плавки. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков. /Лек/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
15.2	Метод бестигельной зонной плавки. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков. /Пр/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р14
15.3	Освоение теоретического материала раздела /Ср/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
	Раздел 16. 16. Методы вытягивания из расплава							
16.1	Методы вытягивания из расплава. Метод Чохральского, метод Степанова и аналогичные им. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков. /Лек/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	

16.2	Методы вытягивания из расплава. Метод Чохральского, метод Степанова и аналогичные им. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков. /Пр/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р15
16.3	Освоение теоретического материала раздела /Ср/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
Раздел 17. 17. Метод холодного тигля								
17.1	Метод холодного тигля. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков. /Лек/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	
17.2	Метод холодного тигля. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков. /Пр/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	Р16
17.3	Освоение теоретического материала раздела /Ср/	6	2	ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У2 ПК-4-В1	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1		КМ1	

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	Экзамен	ПК-4-У2;ПК-4-У1;ПК-4-31;ПК-4-В1	<p>Кристаллизация как фазовый переход. Движущие силы процесса фазового превращения. Изменение свободной энергии кристаллизующейся системы при фазовом превращении. Термодинамические принципы, лежащие в основе процессов кристаллизации, и возможность неравновесных условий роста. Процессы, ограничивающие скорость кристаллизации. Движущие силы кристаллизации из раствора, расплава и газовой (паровой) фазы. Условия существования термодинамически неравновесной, метастабильной фазы. Термодинамика процессов кристаллизации. Баланс тепловых потоков на фронте кристаллизации. Условие непрерывного роста кристалла. Скрытая теплота кристаллизации и ее влияние на процессы роста. Критерии фазового равновесия и движущие силы кристаллизации. В чем проявляется неравновесный характер кристаллизации? Динамический (гидродинамический) и диффузионный пограничные слои. Характер массопереноса и концентрация примеси у фронта кристаллизации. Какие материалы могут быть кристаллизованы из расплава и раствора? Параметры, лимитирующие скорость кристаллизации при росте из этих сред. Молекулярно-кинетическая теория Косселя-Странского. Кинетика процессов кристаллизации. Понятие «повторяющегося шага» при росте грани. Атомная структура кристаллической поверхности и механизмы роста различных граней кристалла. Условия образования центра роста «критического размера». Атомно-гладкие и атомно-шероховатые поверхности, их характеристики и поверхностная энергия. Анизотропия скоростей роста разных граней. Возникновение естественной огранки кристалла. Закон Браве и принцип Гиббса-Кюри-Вульфа. Поверхностная энергия граней кристалла. Структура растущей поверхности по Косселю-Странскому и возможные механизмы роста. Факторы, лимитирующие скорость роста различных граней кристалла. Необходимые условия начала процесса кристаллизации по молекулярно-кинетической теории роста. Основные механизмы роста кристаллов. Особенности гомогенного и гетерогенного зародышеобразования. Понятие критического зародыша. Коэффициент распределения примеси. Пути влияния на коэффициент распределения примеси при росте легированных кристаллов. Кристаллизация из раствора. Термодинамика и кинетика роста. Кристаллизация из расплава. Термодинамика и кинетика роста. Метод Вернейля. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков. Получение кристаллов методом вертикальной направленной кристаллизации Бриджмена-Стокбаргера. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков. Метод Киропулоса. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков. Метод Степанова. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков. Метод Багдасарова. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков. Метод Чохральского. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков. Метод Бестигельной зонной плавки. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков.</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	Практическое занятие 1	ПК-4-В1;ПК-4-31;ПК-4-У1;ПК-4-У2	Термодинамика процессов кристаллизации
P2	Практическое занятие 2	ПК-4-В1;ПК-4-У1;ПК-4-31;ПК-4-У2	Расчеты кинетических параметров процесса кристаллизации и скорости кристаллизации
P3	Практическое занятие 3	ПК-4-31;ПК-4-У1;ПК-4-У2;ПК-4-В1	Теплоперенос в процессе кристаллизации
P4	Практическое занятие 4	ПК-4-31;ПК-4-У1;ПК-4-У2;ПК-4-В1	Массоперенос в процессе кристаллизации
P5	Практическое занятие 5	ПК-4-31;ПК-4-У1;ПК-4-У2;ПК-4-В1	Фронт кристаллизации
P6	Практическое занятие 6	ПК-4-31;ПК-4-У1;ПК-4-У2;ПК-4-В1	Поверхность и поверхностная энергия. Модели роста кристаллов в условиях, близких к равновесию
P7	Практическое занятие 7	ПК-4-31;ПК-4-У1;ПК-4-У2;ПК-4-В1	Модели и механизмы роста кристаллов
P8	Практическое занятие 8	ПК-4-31;ПК-4-У1;ПК-4-У2;ПК-4-В1	Распределение примеси в системе кристалл-расплав/раствор
P9	Практическое занятие 9	ПК-4-31;ПК-4-У1;ПК-4-У2;ПК-4-В1	Физико-химические и физические особенности выбора метода роста кристаллов
P10	Практическое занятие 10	ПК-4-31;ПК-4-У1;ПК-4-У2;ПК-4-В1	Особенности выращивания кристаллов из растворов/раствор-расплавов
P11	Практическое занятие 11	ПК-4-31;ПК-4-У1;ПК-4-У2;ПК-4-В1	Метод Вернейля. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков
P12	Практическое занятие 12	ПК-4-31;ПК-4-У1;ПК-4-У2;ПК-4-В1	Метод Наккена-Киропулоса. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков
P13	Практическое занятие 13	ПК-4-31;ПК-4-У1;ПК-4-У2;ПК-4-В1	Методы направленной кристаллизации. Методы Обреимова-Шубникова, Бриджмена-Стокбаргера, Багдасарова. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков
P14	Практическое занятие 14	ПК-4-31;ПК-4-У1;ПК-4-У2;ПК-4-В1	Метод бестигельной зонной плавки. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков
P15	Практическое занятие 15	ПК-4-В1;ПК-4-У2;ПК-4-У1;ПК-4-31	Методы вытягивания из расплава. Метод Чохральского, метод Степанова и аналогичные им. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков
P16	Практическое занятие 16	ПК-4-В1;ПК-4-У2;ПК-4-У1;ПК-4-31	Метод холодного тигля. Особенности метода, перечень выращиваемых материалов, их физические свойства и особенности выращенных слитков
5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)			
В конце учебной программы предусмотрен экзамен. Типовые вопросы экзамена приведены в вопросах самоподготовки.			

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

По дисциплине предполагается следующая шкала оценок:

1. "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 ответах на три вопроса экзаменационного билета, при незначительных ошибках в четвертом.
2. "Хорошо"- студент показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении двух из заданных вопросов, четко излагает материал в двух других вопросах.
3. "Удовлетворительно"- студент показывает знания в объеме пройденной программы, использует методы и правила, необходимые для решения конкретной поставленной задачи, отвечает с ошибками в трех вопросах, только на один отвечает без замечаний.
4. "Неудовлетворительно" студент допускает грубые ошибки в ответах на все четыре вопроса билета, не ориентируется в тематике курса, не понимает сущности излагаемого вопроса,

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

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Хонигман Б.	Рост и форма кристаллов: монография	Электронная библиотека	Москва: Издательство иностранной литературы, 1961
Л1.2	Вайнгард У., Уманский Я. С.	Введение в физику кристаллизации металлов	Электронная библиотека	Москва: Мир, 1967
Л1.3	Вильке К.-Т., Рейхерт Л. А., Петров Т. Г., Пунин Ю. О.	Выращивание кристаллов	Библиотека МИСиС	СПб.: Недра, 1977
Л1.4	Козлова О. Г., Белов Н. В.	Рост кристаллов: учеб. пособие для геолог. и химико-технол. спец. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МГУ, 1967

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Шубников А. В., Шубников А. В.	Как растут кристаллы	Электронная библиотека	Москва, Ленинград: Изд-во Акад. наук СССР, 1935
Л2.2	Горелик С. С., Дашевский М. Я.	Материаловедение полупроводников и диэлектриков: учебник для студ. вузов по напр. 'Материаловедение и технология новых материалов', 'Материаловедение, технологии материалов и покрытий'	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 2003

6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Соколов И. А.	Расчеты процессов полупроводниковой технологии: Учеб. пособие для вузов	Библиотека МИСиС	М.: Металлургия, 1994

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	scopus.com science.gov sciencedirect.com	scopus.com science.gov sciencedirect.com
----	--	--

6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Win Pro 10 32-bit/64-bit
-----	--------------------------

6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

И.1	1. Elibrary.ru
И.2	2. Scopus.com

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ		
Ауд.	Назначение	Оснащение
К-415	Лаборатория	установка для выращивания водорастворимых кристаллов с кристаллизаторами (5шт.), катетометр В-630, микроскоп, вытяжной шкаф, сушильный шкаф / лабораторные стенды для исследования: свойств сегнетоэлектриков по петле гистерезиса, температурной зависимости диэлектрической проницаемости и потерь мостовым методом, доменной структуры сегнетоэлектрических кристаллов поляризационно-оптическим методом, пьезоэлектрических свойств динамическим методом; исследования генерации оптических гармоник в нелинейных оптических кристаллах; микротвердомер Tukon с ПК и лицензионным ПО
К-521	Учебная аудитория	набор демонстрационного оборудования в том числе: мультимедийный проектор, ПК, экран проекционный, коллекция моделей кристаллических многогранников и кристаллических структур, комплект учебной мебели, пакет лицензионных программ MS Office
К-416	Лаборатория	спектрофотометр «Cary-5000» UV-VIS-NIR фирмы «Varian», с ПК и лицензионным ПО; испытательный комплекс ИК-ЭОЭ-1; инструментальный микроскоп ИМЦ 100x50А; гониометр-спектрометр ГС-2; интерферометр типа Физо ИФ-77 с ПК; микротвердомер «Aaffri DM 8» В AUTO с ПК и лицензионным ПО; микроскоп Carl Zeiss «Axio Imager» M1m с ПК и лицензионным ПО; испытательный комплекс для исследования электрофизических параметров материалов и их температурных зависимостей

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

При прослушивании лекций и на практических занятиях следует иметь в виду, что вся информация излагается с использованием мультимедийных средств -слайдов, видеофайлов. Могут быть раздаточные материалы для информации. Все эти данные могут быть получены студентом в он-лайн формате по адресу полученному у преподавателя.

При использовании данного курса студент должен пользоваться библиотекой университета, электронной базой учебной литературы, в соответствии с настоящей программой.

Студентам рекомендуется с самого начала освоения данного курса работать с литературой и предлагаемыми заданиями в форме подготовки к очередному аудиторному или практическому занятию. К проведению лабораторной работы необходимо иметь конспект с порядком ее проведения для получения допуска от преподавателя. При этом актуализируются имеющиеся знания, а также создается база для усвоения нового материала, возникают вопросы на которые студент получает ответы в аудитории.

Курс предусматривает аудиторные занятия в различных форматах: мультимедийные лекции, практические занятия по решению задач управления технологическими процессами и оценки качества кристаллических структур, лабораторных работ для закрепления теоретических знаний в процессе проведения опытов и измерения физических параметров кристаллических элементов. После каждого раздела проводится контрольная работа для проверки текущей усвояемости курса. В случае проблем усвоения проводится дополнительная консультация и переписывание работы. Оценка освоения дисциплины проводится в виде письменного экзамена, где задаются вопросы по всем разделам курса.