

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 27.10.2023 15:15:01

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 кристаллов

Закреплена за подразделением

Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков

Направление подготовки

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ

Профиль

Квалификация

Инженер-исследователь

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

4 ЗЕТ

Часов по учебному плану

144

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

зачет с оценкой 9

аудиторные занятия

51

самостоятельная работа

93

Распределение часов дисциплины по семестрам

| Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>) | 9 (5.1) | | Итого | |
|---|---------|-----|-------|-----|
| | 18 | | | |
| Неделя | УП | РП | УП | РП |
| Лекции | 17 | 17 | 17 | 17 |
| Лабораторные | 17 | 17 | 17 | 17 |
| Практические | 17 | 17 | 17 | 17 |
| Итого ауд. | 51 | 51 | 51 | 51 |
| Контактная работа | 51 | 51 | 51 | 51 |
| Сам. работа | 93 | 93 | 93 | 93 |
| Итого | 144 | 144 | 144 | 144 |

Программу составил(и):

ктн, Доцент, Петраков Валерий Сергеевич; ктн, Доцент, Антипов Владимир Валентинович

Рабочая программа

Технология получения кристаллов

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 28.06.2023 г. № 292 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, 22.03.01-БМТМ-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:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков

Протокол от 21.06.2023 г., №12-22/23

Руководитель подразделения Оганов А.Р.

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

| | |
|-----|---|
| 1.1 | Подготовить специалистов, овладевших знаниями, умениями и навыками по технологиям получения лазерных кристаллов. |
| 1.2 | Задачи дисциплины: |
| 1.3 | 1. Научить высокотехнологичным методам получения однородных, совершенных кристаллов из расплавов, растворов и газовой фазы. |
| 1.4 | 2. Научить проводить детальный анализ исходных компонентов и термообработку шихты с заданными свойствами. |
| 1.5 | 3. Научить применять требования международных стандартов по обработке полученных монокристаллов для создания компонентной базы лазерных устройств и приборов. |
| 1.6 | 4. Научить разбираться в технической эксплуатации современного технологического оборудования для выращивания кристаллов. |

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

| | | |
|------------|---|------------|
| Блок ОП: | | Б1.В.ДВ.29 |
| 2.1 | Требования к предварительной подготовке обучающегося: | |
| 2.1.1 | Атомная и электронная структура поверхности и межфазных границ | |
| 2.1.2 | Методы исследования структур и материалов. Часть 2 | |
| 2.1.3 | Атомное строение фаз | |
| 2.1.4 | Методы исследования структур и материалов. Часть 1 | |
| 2.1.5 | Фазовые и структурные изменения при формировании материалов и эпитаксиальных структур | |
| 2.1.6 | Диффузия и диффузионно-контролируемые процессы | |
| 2.1.7 | Материаловедение | |
| 2.1.8 | Материаловедение полупроводников и диэлектриков | |
| 2.1.9 | Металловедение инновационных материалов | |
| 2.1.10 | Метрология, стандартизация и технические измерения | |
| 2.1.11 | Фазовые равновесия и дефекты структуры | |
| 2.1.12 | Дефекты кристаллической решетки | |
| 2.1.13 | Компьютеризация эксперимента | |
| 2.1.14 | Основы дизайна металлических материалов | |
| 2.1.15 | Планирование и организация научно-исследовательской работы | |
| 2.1.16 | Планирование научного эксперимента | |
| 2.1.17 | Кристаллография | |
| 2.1.18 | Композиционные материалы | |
| 2.1.19 | Конструирование композиционных материалов | |
| 2.1.20 | Поверхностное модифицирование материалов и защитные покрытия | |
| 2.1.21 | Специальные сплавы | |
| 2.1.22 | Физическое материаловедение сплавов с особыми магнитными свойствами, часть 1. Магнитно-мягкие сплавы | |
| 2.1.23 | Физическое материаловедение сплавов с особыми магнитными свойствами, часть 2. Магнитно-твердые сплавы | |
| 2.1.24 | Биохимия наноматериалов | |
| 2.1.25 | Инженерия поверхности | |
| 2.1.26 | Металловедение и термическая обработка металлов | |
| 2.1.27 | Методы исследования физических свойств полупроводниковых структур | |
| 2.1.28 | Наноматериалы | |
| 2.1.29 | Сверхтвердые материалы | |
| 2.1.30 | Технологии материалов с особыми физическими свойствами | |
| 2.1.31 | Физика магнитных явлений | |
| 2.1.32 | Физика полупроводниковых приборов | |
| 2.1.33 | Физика прочности | |
| 2.1.34 | Физика прочности и механические свойства материалов | |
| 2.1.35 | Физико-химия металлов и неметаллических материалов | |
| 2.1.36 | Физические основы деформации и разрушения | |
| 2.1.37 | Методы исследования материалов | |
| 2.1.38 | Метрология и стандартизация цифровых технологий в материаловедении и металлургии | |

| | |
|------------|---|
| 2.1.39 | Метрология и технические измерения функциональных материалов |
| 2.1.40 | Метрология, стандартизация и технические измерения в электронике |
| 2.1.41 | Основы материаловедения и методов исследования материалов |
| 2.1.42 | Разработка новых материалов |
| 2.1.43 | Физика диэлектриков |
| 2.1.44 | Физика полупроводников |
| 2.1.45 | Введение в квантовую теорию твердого тела |
| 2.1.46 | Материалы альтернативной энергетики |
| 2.1.47 | Материалы наукоемких технологий |
| 2.1.48 | Современные проблемы материаловедения |
| 2.1.49 | Теория поверхностных явлений |
| 2.1.50 | Теория симметрии |
| 2.1.51 | Электроника |
| 2.2 | Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее: |
| 2.2.1 | Методы исследования макро- и микроструктуры материалов |
| 2.2.2 | Некоторые главы кристаллохимии |
| 2.2.3 | Аттестация и сертификация изделий электронной техники |
| 2.2.4 | Менеджмент качества |
| 2.2.5 | Оптические явления в кристаллах. Часть 2 |
| 2.2.6 | Оформление результатов научной деятельности |
| 2.2.7 | Нормы и правила оформления ВКР |
| 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 | Биоорганическая химия |
| 2.2.17 | Высокотемпературные керамические материалы |
| 2.2.18 | Жаропрочные и радиационно-стойкие материалы |
| 2.2.19 | Квантовая теория твердого тела |
| 2.2.20 | Математическое и компьютерное моделирование материалов и процессов электроники |
| 2.2.21 | Методы непараметрической статистики |
| 2.2.22 | Объемные наноматериалы |
| 2.2.23 | Процессы получения и обработки сверхтвердых материалов |
| 2.2.24 | Структура и технологичность сплавов |
| 2.2.25 | Физико-химия эволюции твердого вещества |
| 2.2.26 | Ядерно-спектроскопические и синхротронные методы исследований |
| 2.2.27 | Аттестация и испытания высокотемпературных и сверхтвердых материалов |
| 2.2.28 | Компьютерные и информационные технологии в науке и производстве функциональных материалов |
| 2.2.29 | Материаловедение и технологии перспективных материалов |
| 2.2.30 | Материалы и элементы спинтроники и спинволновой оптики |
| 2.2.31 | Металлические материалы для крупных транспортных систем |
| 2.2.32 | Металловедение высокопрочных сплавов |
| 2.2.33 | Методология и практика определения размерных характеристик материалов |
| 2.2.34 | Методология научных исследований |
| 2.2.35 | Основы клеточной биологии |
| 2.2.36 | Практическое применение теории функционала электронной плотности |
| 2.2.37 | Симметрия наносистем |
| 2.2.38 | Современные компьютерные технологии в структурном анализе |

| | |
|--------|--|
| 2.2.39 | Спектроскопические и зондовые методы |
| 2.2.40 | Термомеханическая обработка металлов и сплавов |
| 2.2.41 | Управление коллективами |
| 2.2.42 | Управление проектами |
| 2.2.43 | Химические основы биологических процессов |
| 2.2.44 | Цифровое материаловедение |

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ПК-1: Способен к поиску новых направлений научных исследований и синтезу знаний в области материаловедения и технологии материалов, способен оформлять технические задания и отчетные материалы по планируемым и проведенным исследованиям

Знать:

ПК-1-33 знать конъюнктуру рынка и требования современных стандартов к качеству кристаллов

ПК-1-34 классические методы выращивания кристаллов и их обработки

ПК-1-31 физику и химию процессов выращивания кристаллов их растворов, расплавов и газовой фазы

ПК-1-32 способы разработки процессов выращивания кристаллов из растворов, расплавов и газовой фазы

Уметь:

ПК-1-У3 анализировать и прогнозировать риски и потребности в тех или иных изделиях монокристаллов

ПК-1-У4 анализировать полученные результаты и находить способы практической реализации

ПК-1-У1 формулировать задачи по проведению технологических цепочек процессов выращивания кристаллов

ПК-1-У2 решать практические задачи по проектированию и расчету тепловых узлов и кристаллизаторов

Владеть:

ПК-1-В3 навыком практического исследования и экспресс-процессов по контролю качества кристаллов

ПК-1-В4 навыками использования ростового оборудования для получения высококачественных кристаллов и заготовок из них

ПК-1-В1 навыком решения практических задач по выращиванию и обработке кристаллов

ПК-1-В2 навыком практического использования способов выращивания кристаллов из растворов, расплавов и газовой фазы

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. Этапы развития технологий выращивания кристаллов из растворов, расплавов и газовой среды. Примеры применения кристаллов в гражданской и оборонной областях промышленности. Основные определения и понятия в процессах кристаллизации. | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|---|---|---|---|------------------------------|---|-----|----|
| 1.1 | Этапы развития технологий выращивания кристаллов из растворов, расплавов и газовой среды. Примеры применения кристаллов в гражданской и оборонной областях промышленности. Основные определения и понятия в процессах кристаллизации. /Лек/ | 9 | 4 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-34 | Л1.2Л2.5Л3.6 Л3.8 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 1.2 | Моделирование процесса выращивания кристаллов из расплавов /Лаб/ | 9 | 2 | ПК-1-У3 ПК-1-У4 | Л1.2Л2.6Л3.5 Л3.8 Э1 Э2 Э3 | Занятия проводятся в специализированной аудитории в соответствии с разделом МТО | КМ2 | Р1 |
| | Раздел 2. Зародышеобразование и выращивание кристаллов из газовой среды на примере технологии магнетронного напыления. | | | | | | | |
| 2.1 | Зародышеобразование и выращивание кристаллов из газовой среды на примере технологии магнетронного напыления /Лек/ | 9 | 4 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-34 | Л1.1 Л1.2Л3.12 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 2.2 | Метод магнетронного напыления /Лаб/ | 9 | 4 | ПК-1-У1 ПК-1-У2 ПК-1-У3 ПК-1-У4 ПК-1-В1 ПК-1-В2 ПК-1-В3 ПК-1-В4 | Л1.1 Л1.2Л3.12 Э1 Э2 Э3 | Занятия проводятся в специализированной аудитории в соответствии с разделом МТО | КМ2 | Р2 |
| 2.3 | Моделирование процессов выращивания кристаллов из газовой фазы /Лаб/ | 9 | 3 | ПК-1-У1 ПК-1-У3 | Л1.1 Л1.2Л3.5 Л3.12 Э1 Э2 Э3 | Занятия проводятся в специализированной аудитории в соответствии с разделом МТО | КМ2 | Р3 |
| | Раздел 3. Основные принципы растворной кристаллизации | | | | | | | |
| 3.1 | Основные принципы растворной кристаллизации /Лек/ | 9 | 5 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-34 | Л1.2Л3.10 | | | |
| 3.2 | Метод растворной кристаллизации /Лаб/ | 9 | 4 | ПК-1-У1 ПК-1-У2 ПК-1-У3 ПК-1-У4 ПК-1-В1 ПК-1-В2 ПК-1-В3 ПК-1-В4 | Л1.3Л3.6 Л3.10 | | КМ2 | Р4 |

| | | | | | | | | |
|-----|---|---|---|---|------------------------------|--|--|----|
| | Раздел 4. Технологические аспекты выращивания сложных высокотемпературных пьезоэлектрических кристаллов (лантангаллиевые силикаты) из расплавов на производстве в компании ОАО «Фомос – Материалс» в online режиме | | | | | | | |
| 4.1 | Технологические аспекты выращивания сложных высокотемпературных пьезоэлектрических кристаллов (лантангаллиевые силикаты) из расплавов на производстве в компании ОАО «Фомос – Материалс» /Лек/ | 9 | 4 | ПК-1-31 ПК-1-33 | Л1.2Л3.8 Э1 Э2 Э3 | | | |
| | Раздел 5. Технологические аспекты выращивания низкотемпературных и высокотемпературных полупроводниковых кристаллов из расплавов в АО «Гиредмет» ГНУ РФ, НИИ Приборов и компании «Солар кремниевые технологии» в online режиме | | | | | | | |
| 5.1 | Технологические аспекты выращивания низкотемпературных и высокотемпературных полупроводниковых кристаллов из расплавов в АО «Гиредмет» ГНУ РФ, НИИ Приборов и компании «Солар кремниевые технологии» /Пр/ | 9 | 4 | ПК-1-33 ПК-1-У1 ПК-1-У2 ПК-1-У3 ПК-1-У4 | Л1.2Л3.6 Л3.8 Э1 Э2 Э3 | | | |
| | Раздел 6. Технологические аспекты выращивания сложных диэлектрических кристаллов из растворов в ФГУ «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» РАН в online режиме | | | | | | | |
| 6.1 | Технологические аспекты выращивания сложных диэлектрических кристаллов из растворов в ФГУ «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» РАН /Пр/ | 9 | 4 | ПК-1-33 ПК-1-У3 ПК-1-У4 | Л1.2Л3.10 Э1 Э2 Э3 | | | Р6 |

| | | | | | | | | |
|-----|---|---|----|---|---|---|-----|----|
| | Раздел 7. Международные стандарты производства кристаллических изделий пьезоэлектрических и полупроводниковых монокристаллов. | | | | | | | |
| 7.1 | Международные стандарты производства кристаллических изделий пьезоэлектрических и полупроводниковых монокристаллов. /Пр/ | 9 | 4 | ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-32 ПК-1-34 | Л1.2Л3.1 Л3.2 Э1 Э2 Э3 | | | |
| | Раздел 8. Особенности ростовой и технологической дефектной структуры реальных кристаллов. | | | | | | | |
| 8.1 | Особенности ростовой и технологической дефектной структуры реальных кристаллов. /Пр/ | 9 | 3 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У2 ПК-1-У1 ПК-1-У3 ПК-1-У4 | Л1.2Л2.1Л3.7 Э1 Э2 Э3 | | | |
| 8.2 | Измерение микротвердости кристаллов /Лаб/ | 9 | 4 | ПК-1-В3 | Л1.1Л2.1 Л2.4Л3.9 Э1 Э2 Э3 | Занятия проводятся в специализированной аудитории в соответствии с разделом МТО | КМ2 | Р5 |
| 8.3 | Контрольная работа № 1 /Пр/ | 9 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-34 ПК-1-33 | Л3.1 Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.5 Л2.6 Л2.7Л3.2 Л1.1 Л2.1 Л3.5 Л3.6 Л3.7 Л3.8 Л3.9 Л3.10 Л3.11 Л3.12 Э1 Э2 Э3 | | КМ1 | |
| | Раздел 9. Самостоятельная работа | | | | | | | |
| 9.1 | 1) Подготовка к аудиторным занятиям: работа с литературой, самостоятельная проработка отдельных вопросов, подготовка вопросов по теме предстоящего занятия. 2) Подготовка к лабораторным занятиям: проработка теоретического материала по теме предстоящей лабораторной работы, изучение принципа действия прибора, программы исследования, подготовка заготовки отчета по лабораторной работе. 3) Выполнение реферата /Ср/ | 9 | 93 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-33 ПК-1-34 ПК-1-У1 ПК-1-У4 | Л1.1 Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.1 Л2.5 Л2.6 Л2.7Л3.1 Л3.2 Л3.5 Л3.6 Л3.7 Л3.8 Л3.9 Л3.10 Л3.11 Л3.12 Э1 Э2 Э3 | | | Р6 |

| 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 | Контрольная работа № 1 | ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-33;ПК-1-34;ПК-1-У1;ПК-1-У4 | <p>Контрольные работа № 1 проходит в виде письменного опроса по трем вопросам из перечня:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Получение шихты заданного состава методом СВС (самораспространяющегося высокотемпературного синтеза) при подготовке роста из расплава кристаллов сложных высокотемпературных пьезоэлектриков. 2. Что является движущей силой процесса выращивания из расплава? 3. Основные принципы растворной кристаллизации. 4. Методы сохранения стехиометрического или конгруэнтного составов кристаллов сложных пьезоэлектриков при росте из расплава. 5. Методы получения кристаллов полупроводниковых соединений типа А2В6. 6. Характерные ростовые дефекты и пути их предупреждения при растворной кристаллизации монокристаллов. 7. Какие методы испытаний являются обязательными в Европейских стандартах качества кристаллических материалов? 8. Образование дефектов кристаллической структуры при росте по методу Чохральского сложных высокотемпературных пьезоэлектриков. 9. Методы сохранения стехиометрического состава кристаллов А2В6 в процессе получения монокристаллов различными методами. 10. Выбор методов растворной кристаллизации для материалов с различной растворимостью. 11. Что относится к дефектам кристаллических изделий для фильтров ПАВ в Европейских стандартах? 12. Какие знания, умения и навыки необходимо применять для химико- механической резки, шлифовки и полировки диэлектрических монокристаллических буль. 13. Основные дефекты, образующиеся в процессе роста при получении монокристаллов полупроводниковых соединений типа А2В6. 14. Принципиальные особенности и преимущества выращивания кристаллов различными растворными методами. 15. Теплофизические процессы при росте кристаллов из расплава: роль процессов переноса тепла в сохранении устойчивости роста кристаллов при методах вытягивания. 16. Особенности резки и механической обработки монокристаллов полупроводниковых соединений. 17. Сравнение однородности кристаллов, полученных растворными и расплавленными методами. 18. Технологические условия роста кристаллов лантан-галиевого силиката и его аналогов с высокой однородностью структуры. 19. Рост монокристаллов GaAs методом Чохральского: требования к оборудованию, особенности технологии, режимы роста и основные дефекты монокристаллов. 20. Теплофизические процессы при росте из растворов и программирование параметров кристаллизации для повышения однородности монокристаллов. 21. В чём причина различия между теоретической и технической прочностью кристалла? 22. Кристаллографические и термодинамические аспекты выращивания эпитаксиальных кристаллических плёнок методом магнетронного распыления. 23. Какие факторы оказывают влияние на зарождение кристаллов? 24. Какие технологические приемы используются для сохранения стехиометрического состава LN? 25. Какие движущие силы действуют в процессах роста кристаллов из растворов и расплавов? 26. Роль процессов переноса тепла в сохранении устойчивости |

| | | | <p>роста кристаллов при вытягивании из расплава.</p> <p>27. Условия применения метода Чохральского для выращивания высокотемпературных пьезокристаллов.</p> <p>28. Физическая сущность анизотропии микротвердости в монокристаллах.</p> <p>29. Как влияет pH маточного раствора на морфологию растущих в нем кристаллов иодата лития?</p> <p>30. Выращивание кристаллов кварца гидротермальным методом.</p> <p>31. Применение искусственно выращенных кристаллов в оптических, пьезоэлектрических, а также лазерных устройствах и приборах.</p> <p>32. На какие параметры роста кристаллов из расплава влияют изменения скорости подъема и вращения затравочного кристалла?</p> <p>33. Какие параметры процесса выращивания кристаллов на установке «Кристалл-3М» находятся под особым контролем?</p> <p>34. Какие механизмы трещинообразования кристаллов и какой метод обработки увеличивает трещиностойкость?</p> <p>35. Что такое «критический» размер зародыша и от чего он зависит?</p> <p>36. В чем отличие промышленного процесса выращивания кристаллов от лабораторного (опытного)?</p> <p>37. Какие условия выращивания приводят к естественной конвекции и выпуклому фронту кристаллизации?</p> <p>38. Какие требования применяются к затравочному кристаллу?</p> <p>39. В чем суть кинетических процессов выращивания кристаллов?</p> <p>40. Что такое «запаразичивание» раствора в процессе выращивания кристаллов и каким путем от него избавляются?</p> <p>41. В какой последовательности проводится механическая обработка монокристаллических буль?</p> |
|---|---------------------------|---|---|
| КМ2 | Защита лабораторных работ | ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-33;ПК-1-34;ПК-1-У1;ПК-1-У2;ПК-1-У4 | <p>Процесс выращивания кристаллов из расплавов</p> <p>Метод магнетронного напыления</p> <p>Процесс выращивания кристаллов из газовой фазы</p> <p>Метод растворной кристаллизации</p> <p>Измерение микротвердости кристаллов</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 | ПК-1-31;ПК-1-34;ПК-1-32;ПК-1-У1 | Моделирование процесса выращивания кристаллов из расплавов |
| P2 | Лабораторная работа № 2 | ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-34;ПК-1-У1;ПК-1-У4 | Метод магнетронного напыления |
| P3 | Лабораторная работа № 3 | ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-34;ПК-1-У1;ПК-1-У4 | Моделирование процессов выращивания кристаллов из газовой фазы |
| P4 | Лабораторная работа № 4 | ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-34;ПК-1-У1;ПК-1-У4;ПК-1-В1;ПК-1-В2;ПК-1-В3;ПК-1-В4 | Метод растворной кристаллизации |
| P5 | Лабораторная работа № 5 | ПК-1-В3 | Измерение микротвердости кристаллов |

| | | | |
|----|---------|---|--|
| Р6 | Реферат | ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-34;ПК-1-33;ПК-1-У1;ПК-1-У4 | <p>Примерная тематика рефератов</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Оборудование для выращивания монокристаллов методом Чохральского. Особенности установки. 2. Организация производства монокристаллов с использованием установок «Кристалл – 3М». Особенности технологии. Особенности теплового узла. Выращивание кристаллов больших диаметров. Организация работы ростового участка. 3. Способ промышленного выращивания кристаллов NaCl 4. Выращивание высокотемпературных кристаллов методом Киропулоса. 5. Выращивание высокотемпературных кристаллов методом Бриджмена. 6. Выращивание высокотемпературных кристаллов методом Степанова. 7. Выращивание высокотемпературных кристаллов гидротермальным методом. 8. Выращивание (особенности) монокристаллов KDP (KH₂PO₄). 9. Особенности выращивания монокристаллов, один из компонентов является легко летучим (арсенид галлия, арсенид индия, антимонид индия, антимонид галлия). Поддержание постоянным состава кристалла на протяжении всего процесса выращивания. Способы и методы поддержания химической однородности. 10. Особенности механической обработки полупроводниковых пластин при шлифовке, полировке с целью удаления нарушенного слоя. Последовательность операций, вид и марка порошка, состав суспензии, химико-механическая полировка. 11. Влияние чистоты исходных компонентов на электрофизические и структурные параметры и свойства материала, которые определяют в дальнейшем приборные качества (чувствительность, разрешающая способность и т.д.) 12. Математическое моделирование процессов конвективного тепло-массообмена при получении кристаллических материалов. 13. Теплофизические процессы при кристаллизации из расплава. 14. Критические условия выращивания кристаллов диэлектриков и полупроводников. 15. Устойчивый рост кристаллов из расплава капиллярном формообразовании. 16. Модель формирования химической микронеоднородности в растущих кристаллах. 17. Нестационарные процессы при росте из расплавов и примесная структура кристаллов. 18. Управление формой фронта кристаллизации при росте из расплава. 19. Методы оценки локальных неоднородностей расплавных кристаллов. 20. Влияние режимов принудительного перемешивания на однородность кристаллов при вытягивании из расплава. 21. Методы выращивания кристаллов постоянного состава. 22. Программирование параметров кристаллизационного процесса для повышения однородности кристаллов. 23. Управление диаметром кристалла в процессе роста из расплава по методу Чохральского. 24. Кластерная модель пограничного слоя при росте из расплавов. 25. Методы контроля и управления процессами роста расплавных и растворных кристаллов. 26. Физические основы способа Степанова для выращивания профилированных кристаллов с капиллярной подпиткой. 27. Гидротермальный синтез диэлектрических кристаллов. 28. Гарнисажный способ выращивания кристаллов тугоплавких окисных соединений. 29. Получение кристаллов полупроводников в условиях микрогравитации. 30. Получение кристаллов новых сильных пьезоэлектриков из расплава (тетраборат лития, лантан-галлиевый силикат и др.). 31. Кристаллические сцинтилляторы на основе силикатов и роль технологии в улучшении эксплуатационных характеристик. |
|----|---------|---|--|

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | <p>32. Технология выращивания кристаллов из высокотемпературных раствор-расплавов (на примере КТР, ВВО и др.).</p> <p>33. Выращивание бездислокационных кристаллов кремния и германия больших диаметров.</p> <p>34. Раствор-расплавные кристаллы для устройств генерации гармоник неодимовых лазеров.</p> <p>35. Выращивание монокристаллов со структурой шеелита для детектирования гамма-излучения.</p> <p>36. Метод плавающего тигля в технологических процессах получения однородно легированных монокристаллов полупроводников.</p> <p>37. Сравнительный анализ однородности расплавных кристаллов при различных методах получения.</p> <p>38. Выращивание кристаллов кварца гидротермальным методом и связь морфологии кристаллов с внутренней структурой.</p> <p>39. Получение однородно легированных кристаллов сапфира и рубина методом Вернейля.</p> <p>40. Выращивание нелинейных кристаллов группы КДР для управления и генерации гармоник лазерного излучения.</p> <p>41. Выращивание кристаллов ниобата лития заданного состава для электро и нелинейной оптики и пьезотехники.</p> <p>42. Монокристаллы $Y_3Al_5O_{12}$ активированные ионами переходных металлов для твердотельных лазеров с перестраиваемой генерацией.</p> <p>43. Выращивание монокристаллов лантан-галлиевого силиката методом Чохральского.</p> <p>44. Кристаллические сцинтилляторы на основе силикатов лютеция, иттрия и гадолиния.</p> <p>45. Ортосиликат иттербия для регистрации ионизирующих излучений.</p> <p>46. Выращивание кристаллов германата висмута со структурой силленита для применения в пьезотехнике, опто и акустоэлектронике</p> |
| 5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.) | | | |
| экзамен не предусмотрен | | | |
| 5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР) | | | |
| Оценка за зачет формируется как средняя оценка по всем выполняемым работам и контрольным мероприятиям. | | | |

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|---|---|------------------------|------------------------|
| Л1.1 | Розин Константин Маркович, Петраков Валерий Сергеевич | Кристаллофизика: учеб. пособие для студ. вузов | Электронная библиотека | М.: Учеба, 2006 |
| Л1.2 | Блистанов Александр Алексеевич | Кристаллы квантовой и нелинейной оптики: учебное пособие для студ. вузов спец. - 'Микроэлектроника и твердотельная электроника', 'Электроника и микроэлектроника' | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МИСиС, 2007 |
| Л1.3 | Портнов Олег Григорьевич | Технология объемных монокристаллов полупроводников и диэлектриков. Выращивание технологичных монокристаллов иодата лития для устройств нелинейной оптики: учеб. пособие | Электронная библиотека | М.: [МИСиС], 2015 |

6.1.2. Дополнительная литература

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|--|--|------------------------|--|
| Л2.1 | Хрущов М. М., Беркович Е. С., Чудаков Е. А. | Микротвердость, определяемая методом вдавливания: практическое пособие | Электронная библиотека | Москва, Ленинград: Издательство Академии Наук СССР, 1943 |
| Л2.2 | Келли А., Гровс Г., Шаскольский М. П. | Кристаллография и дефекты в кристаллах | Электронная библиотека | Москва: Мир, 1974 |
| Л2.3 | Вильке К.-Т., Рейхерт Л. А., Петров Т. Г., Пунин Ю. О. | Выращивание кристаллов | Библиотека МИСиС | СПб.: Недра, 1977 |
| Л2.4 | Шаскольская М. П. | Кристаллография: учеб. пособие для студ. высш. техн. учеб. заведений | Библиотека МИСиС | М.: Высш. шк., 1984 |
| Л2.5 | Кожитов Л. В., Зарапин А. Ю., Чиченев Н. А. | Технологическое вакуумное оборудование: В 2-х ч.: Ч.1.: Вакуумные системы технологического оборудования: Учебник для студ. напр. 651600 - Технол. машины и оборудование, спец. 170300 - Metallург. машины и оборудование | Библиотека МИСиС | М.: Руда и металлы, 2001 |
| Л2.6 | Нашельский А. Я. | Технология спецматериалов электронной техники: Учеб. пособие для техникумов по спец. 2001 'Технология материалов электрон. техники' | Библиотека МИСиС | М.: Metallургия, 1993 |
| Л2.7 | Блистанов Александр Алексеевич, Гераськин Валерий Васильевич | Материалы и компоненты функциональной электроники: Разд.: Точечные дефекты в оптических кристаллах: курс лекций | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 1990 |

6.1.3. Методические разработки

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|---|--|------------------------|---|
| Л3.1 | Сергеев А. Г. | Сертификация: учебное пособие | Электронная библиотека | Москва: Логос, 2008 |
| Л3.2 | Федюков В. И., Тарасова О. Г., Салдаева Е. Ю., Носова А. Н., Цветкова Е. М. | Подтверждение соответствия и управление качеством продукции и услуг: учебное пособие | Электронная библиотека | Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2015 |
| Л3.3 | Шаскольская М. П. | Кристаллография: Учебник для вузов | Библиотека МИСиС | М.: Высш. шк., 1976 |
| Л3.4 | Новиков И. И., Розин К. М. | Кристаллография и дефекты кристаллической решетки: Учебник для вузов | Библиотека МИСиС | М.: Metallургия, 1990 |
| Л3.5 | Розин Константин Маркович, Закутайлов Константин Владимирович | Моделирование физических и технологических процессов: учеб. пособие | Электронная библиотека | М.: Изд-во МИСиС, 2009 |
| Л3.6 | Розин Константин Маркович | Технология материалов и изделий электронной техники: лаб. практикум для студ. специализ. 'Техническая физика' (направление 553100) | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 1999 |

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|-------|---|---|------------------|------------------------|
| ЛЗ.7 | Андреев Лев Алексеевич, Новиков А. В., Новикова Елена Александровна, Бокштейн Борис Самуилович | Физика и химия твердого тела. Точечные дефекты в ионных кристаллах: Метод. указания для студ. спец. 070800 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 2003 |
| ЛЗ.8 | Антипов В. В., Розин Константин Маркович | Технология материалов и изделий электронной техники: Выращивание монокристаллов из расплавов: Лаб. практикум для студ. направл. 553100 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 2002 |
| ЛЗ.9 | Диденко Ирина Сергеевна, Козлова Нина Семеновна, Кугаенко Ольга Михайловна, Петраков Валерий Сергеевич | Физика реального кристалла: лаб. практикум | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МИСиС, 2013 |
| ЛЗ.10 | Портнов Олег Григорьевич | Технология объемных монокристаллов полупроводников и диэлектриков. Выращивание технологичных монокристаллов иодата лития для устройств нелинейной оптики: учеб. пособие | Библиотека МИСиС | М.: [МИСиС], 2015 |
| ЛЗ.11 | Быкова Марина Борисовна, Гореева Жанна Анатольевна, Козлова Нина Семеновна, Подгорный Дмитрий Андреевич | Выполнение и оформление выпускных квалификационных работ, научно-исследовательских работ, курсовых работ магистров и отчетов по практикам: метод. указания | Библиотека МИСиС | М.: [МИСиС], 2017 |
| ЛЗ.12 | Пархоменко Юрий Николаевич, Антипов В. В., Жуков Р. А., др. | Выращивание кристаллов. Выращивание кристаллических пленок методом магнетронного напыления: лаб. практикум | Библиотека МИСиС | М.: [МИСиС], 2017 |

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

| | | |
|----|--|---|
| Э1 | Электронная Библиотека НИТУ "МИСиС" URL: http://elibrary.misis.ru/login.php | http://elibrary.misis.ru/login.php |
| Э2 | Университетская библиотека On Line URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_blocks&view=main_ub | http://biblioclub.ru/index.php?page=book_blocks&view=main_ub |
| Э3 | Электронно-библиотечная система "Лань" URL: https://e.lanbook.com/ | https://e.lanbook.com/ |

6.3 Перечень программного обеспечения

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

6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

| | |
|-----|---|
| И.1 | База данных по ионным радиусам элементов http://abulafia.mt.ic.ac.uk/shannon/ptable.php |
| И.2 | База данных по оптическим свойствам веществ (показатели преломления, коэффициенты пропускания, отражения, экстинкции) https://refractiveindex.info/ |

| 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ | | |
|--|---|--|
| Ауд. | Назначение | Оснащение |
| 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-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-417 | Научно-исследовательская лаборатория получения тонких пленок методом магнетронного напыления: | комплекс оборудования для послеростовой подготовки поверхности, установка магнетронного напыления Sunpla 40TM, оптический микроскоп ZEISS, система оптических исследований пленок (эллипсомер) Альфа-SE, настольная установка магнетронного напыления Denton Vacuum |
| 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-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 |

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Дисциплина «технология получения кристаллов» требует значительного объема самостоятельной работы студента. Качественное освоение дисциплины возможно только при систематической самостоятельной работе, что поддерживается системой текущей и рубежной аттестации.

Отдельные учебные вопросы выносятся на самостоятельную проработку и контролируются посредством текущей аттестации.

Студентам рекомендуется с самого начала освоения данного курса работать с литературой и предлагаемыми заданиями в форме подготовки к очередному аудиторному занятию. При этом актуализируются имеющиеся знания, а также создается база для усвоения нового материала, возникают вопросы, ответы на которые студент получает в аудитории. При освоении данного курса студент должен пользоваться библиотекой НИТУ "МИСиС", а также электронными базами учебной литературы, в соответствии с настоящей программой.

Подготовка к лабораторным занятиям предусматривает проработку теоретического материала по теме предстоящей лабораторной работы, изучение принципа действия прибора, блок-схемы измерительной установки, программы исследования. Результатом подготовки к лабораторной работе является домашняя заготовка отчета.