

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 09.07.2023 20:53:28

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)

Физика импульсного отжига

Закреплена за подразделением

Кафедра ППЭ и ФПП

Направление подготовки

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **3 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 108

в том числе:

аудиторные занятия 51

самостоятельная работа 57

Формы контроля в семестрах:

зачет с оценкой 7

Распределение часов дисциплины по семестрам

| Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>) | 7 (4.1) | | Итого | |
|---|----------------|-----|-------|-----|
| Неделя | 18 | | | |
| Вид занятий | 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 | 57 | 57 | 57 | 57 |
| Итого | 108 | 108 | 108 | 108 |

Программу составил(и):

ктн, доцент, Паничкин А.В.

Рабочая программа

Физика импульсного отжига

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 02.04.2015 г. № 95 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, 11.03.04-БЭН-22.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра ППЭ и ФПП

Протокол от 21.06.2022 г., №11

Руководитель подразделения Диденко Сергей Иванович

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

| | |
|-----|--|
| 1.1 | Целью освоения дисциплины является формирование у студентов компетенций в соответствие с учебным планом по направлению 11.03.04 в области электроники и нанoeлектроники, дающих общие представления о принципах функционирования лучевых импульсных источников, основных направлениях применения импульсного излучения (квантового, корпускулярного) в разработке и производстве электронных приборных структур. |
|-----|--|

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

| | | |
|------------|---|------------|
| Блок ОП: | | Б1.В.ДВ.05 |
| 2.1 | Требования к предварительной подготовке обучающегося: | |
| 2.1.1 | Биполярные полупроводниковые приборы | |
| 2.1.2 | Квантовая и оптическая электроника | |
| 2.1.3 | Материаловедение полупроводников и диэлектриков | |
| 2.1.4 | Технология материалов электронной техники | |
| 2.1.5 | Физика диэлектриков | |
| 2.1.6 | Физика конденсированного состояния | |
| 2.1.7 | Физика магнитных явлений | |
| 2.1.8 | Статистическая физика | |
| 2.1.9 | Физические свойства кристаллов | |
| 2.1.10 | Методы математической физики | |
| 2.1.11 | Основы квантовой механики | |
| 2.1.12 | Практическая кристаллография | |
| 2.1.13 | Учебная практика по получению первичных профессиональных умений | |
| 2.1.14 | Учебная практика по получению первичных профессиональных умений | |
| 2.1.15 | Физика | |
| 2.1.16 | Физическая химия | |
| 2.1.17 | Электротехника | |
| 2.1.18 | Математика | |
| 2.1.19 | Органическая химия | |
| 2.1.20 | Информатика | |
| 2.1.21 | Химия | |
| 2.1.22 | Инженерная и компьютерная графика | |
| 2.2 | Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее: | |
| 2.2.1 | Вакуумная и плазменная электроника | |
| 2.2.2 | Квантоворазмерные структуры в нанoeлектронике | |
| 2.2.3 | Магнитные измерения | |
| 2.2.4 | Математические модели технологических процессов получения магнитоэлектроники и радиокерамики | |
| 2.2.5 | Моделирование технологических процессов получения материалов электронной техники | |
| 2.2.6 | Оборудование производства ферритовых материалов и радиокерамики | |
| 2.2.7 | Основы технологии электронной компонентной базы | |
| 2.2.8 | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы | |
| 2.2.9 | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы | |
| 2.2.10 | Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы | |
| 2.2.11 | Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы | |
| 2.2.12 | Приборы квантовой и оптической электроники | |
| 2.2.13 | Процессы вакуумной и плазменной электроники | |
| 2.2.14 | Светоизлучающие полупроводниковые приборы | |
| 2.2.15 | Технология производства ферритовых материалов и радиокерамики | |

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

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

Знать:

| | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|
| ОПК-1-31 Основы математического анализа для расчета режимов проведения импульсных обработок полупроводниковых материалов и приборов. | | | | | | | | |
| ПК-3: Способность проводить предварительные измерения опытных образцов изделий электронной техники | | | | | | | | |
| Знать: | | | | | | | | |
| ПК-3-31 Основные закономерности изменения характеристик различных материалов и приборных структур при проведении импульсного отжига в различных режимах | | | | | | | | |
| ПК-3-32 Специфику поведения имплантированной примеси в приповерхностной области полупроводника при проведении импульсных обработок | | | | | | | | |
| 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 Принципы поиска и анализа необходимой информации для проведения исследований влияния импульсного излучения на параметры полупроводниковых структур. | | | | | | | | |
| ПК-3: Способность проводить предварительные измерения опытных образцов изделий электронной техники | | | | | | | | |
| Уметь: | | | | | | | | |
| ПК-3-У1 Выполнять расчеты распределения температурных полей в полупроводниках при импульсном отжиге; | | | | | | | | |
| 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 Анализировать полученную информацию для оптимизации режимов проведения импульсного отжига с целью управления параметрами приборных структур. | | | | | | | | |
| ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности | | | | | | | | |
| Уметь: | | | | | | | | |
| ОПК-1-У1 Применять методики расчета температурных полей в полупроводниках при проведении технологических операций с использованием импульсного излучения. | | | | | | | | |
| ПК-3: Способность проводить предварительные измерения опытных образцов изделий электронной техники | | | | | | | | |
| Владеть: | | | | | | | | |
| ПК-3-В1 Методами измерения характеристик материалов и параметров приборов при воздействии импульсного излучения; | | | | | | | | |
| ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности | | | | | | | | |
| Владеть: | | | | | | | | |
| ОПК-1-В1 Владеть навыками оценки результатов исследований влияния импульсного излучения на полупроводниковые материалы и структуры с использованием методов математической статистики | | | | | | | | |
| 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 | | | | | | | | |
| Владеть: | | | | | | | | |
| УК-1-В1 Иметь навыки прогнозирования поведения параметров полупроводниковых приборов и ИС при проведении импульсных обработок. | | | | | | | | |

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. Основные закономерности взаимодействия высокоинтенсивного импульсного излучения с твердым телом. Методики расчета распределения температуры при импульсном отжиге. | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|---|---|----|--|--|---|--|----|
| 1.1 | Основные области применения импульсного излучения в технологии микро- и нанoeлектроники. Типы источников импульсного излучения и принципы их работы. Основы взаимодействия импульсного излучения с веществом. /Лек/ | 7 | 6 | УК-1-31 УК-1-У1 | Л1.1Л2.15 Л2.21 Э1 | Занятия проводятся в аудитории, оборудованной ТСО. | | |
| 1.2 | Методики расчета распределения температуры в кристаллах при воздействии лазерного и фотонного излучений /Лек/ | 7 | 2 | УК-1-31 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-У1 | Л1.1Л2.8 Л2.21 Э1 | Занятия проводятся в аудитории, оборудованной ТСО. | | |
| 1.3 | Проработка лекционного материала для подготовки к практическим занятиям, выполнение расчетно-графической работы (РГР). /Ср/ | 7 | 15 | УК-1-31 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1 | Л1.1Л2.4 Л2.10 Л2.12 Л2.18 Л2.26 Э1 Э2 Э4 | Методические указания по выполнению РГР на кафедре, на электронном и бумажном носителе. | | Р9 |
| 1.4 | Расчет распределения температуры в полупроводниках при лазерном и фотонном отжиге /Пр/ | 7 | 4 | УК-1-31 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-У1 | Л1.1Л1.1 Э1 | Решение типовых задач по теме раздела. | | Р1 |
| 1.5 | Подготовка к выполнению и защите лабораторной работы №1. /Ср/ | 7 | 2 | УК-1-31 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-В1 | Л1.1 Л2.8 Л1.1Л2.3 Л2.5 Л2.14 Э1 Э2 Э3 Э4 | Написание конспекта. Методические указания по выполнению лабораторных работ, электронная версия и на бумажном носителе на кафедре. Обработка результатов эксперимента | | |
| 1.6 | Выполнение и защита лабораторной работы №1 "Методы контроля параметров структур, подвергнутых импульсной обработке". /Лаб/ | 7 | 4 | УК-1-31 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1 ПК-3-В1 | Л2.5Л2.3 Э1 | Занятия проводятся в лаборатории кафедры в соответствии с разделом МТО | | Р2 |
| 1.7 | Электронно-лучевой отжиг микроэлектронных структур. Взаимодействие низкоэнергетического электронного излучения с твердым телом. Расчет распределения температуры в полупроводниках при воздействии электронного излучения /Лек/ | 7 | 1 | УК-1-31 ОПК-1-31 ПК-3-У1 | Л2.4 Л2.8Л2.7 Л2.25 Э1 | | | |

| | | | | | | | | |
|------|---|---|---|--|---|--|-----|----|
| 1.8 | Проработка лекционного материала для подготовки к практическим занятиям. /Ср/ | 7 | 2 | УК-1-31 ОПК-1-31 ПК-3-У1 | Л2.4 Л2.5 Л2.7Л2.16 Л2.18 Л2.23 Л2.25 Э1 Э2 | | | |
| 1.9 | Расчет распределения температуры в полупроводниках при электронно-лучевом отжиге /Пр/ | 7 | 2 | УК-1-31 УК-1-У1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-У1 | Л2.8 Л1.1 Л1.1Л2.19 Л2.21 Л2.25 Э1 | Решение типовых задач по теме раздела. | | Р3 |
| 1.10 | Подготовка к выполнению и защите лабораторной работы №2 /Ср/ | 7 | 3 | УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-В1 | Л2.4 Л1.1 Л2.23 Л1.3Л2.12 Э1 Э2 | Написание конспекта. Методические указания по выполнению лабораторных работ, электронная версия и на бумажном носителе на кафедре. Обработка экспериментальных результатов | | |
| 1.11 | Выполнение и защита лабораторной работы №2 "Управление параметрами солнечных элементов с использованием операций импульсного отжига" /Лаб/ | 7 | 4 | УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1 ПК-3-В1 | Л1.1 Л1.3Л2.12 Л2.19 Л2.22 Э1 | Занятие проводится в лаборатории кафедры в соответствии с разделом МТО | | Р4 |
| 1.12 | Подготовка к написанию контрольной работы №1 /Ср/ | 7 | 3 | УК-1-31 УК-1-У1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-У1 ПК-3-В1 | Л1.1 Л1.1Л2.8 Л2.18 Л2.19 Л2.26 Э1 Э2 Э3 Э4 | Проработка типовых вопросов и задач в соответствии с разделом ФОС | | |
| 1.13 | Контрольная работа по разделу /Пр/ | 7 | 2 | УК-1-31 УК-1-У1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-У1 ПК-3-В1 | Э1 | | КМ1 | |
| | Раздел 2. Изменение физических свойств приповерхностных слоев полупроводниковых структур при импульсном отжиге | | | | | | | |
| 2.1 | Основные закономерности импульсного отжига аморфизированных и частично разупорядоченных слоев полупроводников. Структурные несовершенства в полупроводниках при импульсной обработке. /Лек/ | 7 | 3 | УК-1-31 ОПК-1-31 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1 | Л2.7 Л1.1Л2.8 Л2.17 Э1 | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|---|---|----|--|--|---|-----|----|
| 2.2 | Проработка лекционного материала для подготовки к практическим занятиям. Выполнение расчетно-графической работы (РГР) /Ср/ | 7 | 12 | УК-1-31 ОПК-1-31 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1 | Л2.4 Л1.1Л2.19 Л2.21 Э1 Э2 | Методическ е указания по выполнению РГР на кафедре, на электронном и бумажном носителе. | | Р9 |
| 2.3 | Расчет скорости кристаллизации аморфных слоев при использовании импульсного излучения. Кинетика радиационных дефектов в полупроводниках при импульсном отжиге. /Пр/ | 7 | 4 | УК-1-31 УК-1-У1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-У1 | Л2.4Л2.23 Э1 | Решение типовых задач по теме раздела | | Р5 |
| 2.4 | Поведение имплантированной примеси в полупроводниках после проведения импульсного отжига. Механизмы перераспределения примеси. /Лек/ | 7 | 2 | УК-1-31 УК-1-У1 ОПК-1-31 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1 | Л2.4Л2.8 Л1.1 Э1 | | | |
| 2.5 | Подготовка к выполнению и защите лабораторной работы №3 /Ср/ | 7 | 4 | УК-1-31 УК-1-У1 ОПК-1-31 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1 | Л2.4 Л2.8 Л1.1Л1.1 Л2.17 Л2.19 Э1 Э2 | Написание конспекта. Методическ е указания по выполнени ю лабораторны х работ на электронном и бумажном носителях на кафедре. Обработка результатов эксперимент а | | |
| 2.6 | Выполнение и защита лабораторной работы №3 "Изменение удельного сопротивления полупроводника при лучевых обработках" /Лаб/ | 7 | 4 | УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1 ПК-3-В1 | Л2.4 Л2.8 Л1.1Л2.2 Л2.17 Л2.19 Э1 | Занятие проводится в лаборатории кафедры в соответствии с разделом МТО | | Р6 |
| 2.7 | Подготовка к написанию контрольной работы №2 /Ср/ | 7 | 4 | УК-1-31 УК-1-У1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1 | Л2.8 Л1.1 Л1.1Л2.18 Л2.19 Л2.22 Л2.23 Л2.25 Э1 Э2 Э4 | Проработка типовых задач и теоретическ их вопросов в соответствие с разделом ФОС | | |
| 2.8 | Контрольная работа по разделу /Пр/ | 7 | 2 | УК-1-31 УК-1-У1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1 | Э1 | | КМ2 | |

| | | | | | | | | |
|-----|--|---|---|--|---|---|-----|----|
| | Раздел 3. Особенности проведения импульсного отжига многослойных микроэлектронных структур, гетероструктур, наноструктур | | | | | | | |
| 3.1 | Использование импульсного излучения для улучшения характеристик многослойных структур (аморфные, поликристаллические, металлические пленки, структуры диэлектрик-полупроводник). /Лек/ | 7 | 2 | УК-1-31 УК-1-У1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-32 | Л1.1 Л2.10Л2.4 Э1 | | | |
| 3.2 | Проработка лекционного материала для подготовки к практическим занятиям по теме раздела. Защита РГР в электронной среде /Ср/ | 7 | 6 | УК-1-31 УК-1-У1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-32 | Л1.2 Л2.10Л2.8 Э1 Э2 | | КМ3 | |
| 3.3 | Расчет толщин слоев силицидов металлов, формирующихся при лучевой импульсной обработке /Пр/ | 7 | 1 | УК-1-31 УК-1-У1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1 | Л1.1Л2.4 Л2.8 Э1 | Решение типовых задач по теме раздела | | Р7 |
| 3.4 | Подготовка к выполнению и защите лабораторной работы №4 /Ср/ | 7 | 2 | УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1 ПК-3-В1 | Л2.16Л2.20 Л2.25 Э1 Э2 Э4 | Написание конспекта. Методические указания по выполнению лабораторных работ на электронном и бумажном носителях на кафедре. Обработка результатов эксперимента. | | |
| 3.5 | Выполнение и защита лабораторной работы №4 "Влияние импульсных обработок на параметры структур диэлектрик-полупроводник" /Лаб/ | 7 | 5 | УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1 ПК-3-В1 | Л2.16Л2.7 Л2.20 Э1 | Занятие проводится в лаборатории кафедры в соответствии с разделом МТО | | Р8 |
| 3.6 | Использование импульсного излучения при формировании гетероструктур и наноструктур. /Лек/ | 7 | 1 | УК-1-31 УК-1-У1 ОПК-1-31 ПК-3-31 ПК-3-У1 | Л1.1 Л1.1Л2.1 Л2.6 Л1.1 Л2.24 Э1 | | | |
| 3.7 | Подготовка к написанию контрольной работы №3 /Ср/ | 7 | 4 | УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1 | Л2.6 Л2.8 Л1.1 Л1.1Л1.1 Л2.20 Л2.24 Э1 Э2 Э3 Э4 | Проработка типовых теоретических вопросов и задач в соответствии с разделом ФОС | | |

| | | | | | | | | |
|-----|------------------------------------|---|---|--|----|--|-----|--|
| 3.8 | Контрольная работа по разделу /Пр/ | 7 | 2 | УК-1-31 УК-1-У1 УК-1-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1 | Э1 | | КМ4 | |
|-----|------------------------------------|---|---|--|----|--|-----|--|

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 | Контрольная работа №1 | ПК-3-У1;ОПК-1-31;ОПК-1-У1;УК-1-31;УК-1-У1;ПК-3-В1 | <p>Теоретические вопросы</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Принципы работы источников импульсного излучения и общие закономерности взаимодействия низкоэнергетического излучения с веществом: 2. Основные области применения импульсного излучения в технологии полупроводниковых приборных структур. 3. Типы источников импульсного излучения, их характеристики, области применения. 4. Принципы работы лазеров. Способы укорочения длительности импульсов лазерного излучения. 5. Характеристика основных эффектов, проявляющихся при взаимодействии высокоинтенсивного излучения с веществом. 6. Взаимодействие низкоэнергетического электронного излучения с твердым телом. Механизмы потерь энергии. 7. Выполнять расчеты распределения температурных полей в полупроводниках при импульсном отжиге; 8. Расчет распределения температуры в кристаллах при лазерном отжиге. 9. Расчет распределения температуры при фотонном отжиге в импульсном и стационарном режимах. 10. Расчет распределения температуры при проведении импульсного электронно-лучевого отжига. 11. Типы электронных микроскопов и принципы их работы <p>Типовые задачи</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Оценить пороговый поток энергии, необходимый для плавления поверхности аморфного кремния при воздействии рубинового лазера с длительностью импульса 10 нс 2. Определить время нагрева пластины кремния толщиной 400 мкм до $T=1200^{\circ}\text{C}$ при стационарном отжиге, если степень черноты источника составляет 0,9, постоянная Стефана-Больцмана $k=5,67 \cdot 10^{-12} \text{ Вт/см}^2\text{К}^4$, температура нагревателя 3000°C. 3. Определить температуру на поверхности монокристаллического кремния при лазерном отжиге (длина волны 1,06 мкм), если поток энергии излучения составляет $1,6 \text{ Дж/см}^2$, а длительность импульса 10 нс. 4. Рассчитать пороговый поток энергии излучения, необходимый для плавления поверхности аморфного кремния при лазерном отжиге (длина волны излучения 1,06 мкм, длительность импульса 30 нс, $T_{\text{пл}}=900^{\circ}\text{C}$) 5. Рассчитать критическую длительность импульса рубинового лазера, при которой диффузией тепла в эпитаксиальном кремнии можно пренебречь. 6. Рассчитать критическую длительность импульса рубинового лазера, при которой диффузией тепла в аморфном кремнии можно пренебречь. 7. Определить энергию лазерного излучения (длина волны 0,69 мкм, длительность импульса 0,5 мс), необходимую для повышения температуры на поверхности монокристаллического кремния до 1000 К. |
|-----|-----------------------|---|---|

| | | | |
|-----|-----------------------|---|---|
| КМ2 | Контрольная работа №2 | ПК-3-У1;ПК-3-32;ОПК-1-31;ОПК-1-У1;УК-1-31;УК-1-У1;ПК-3-31 | <p>Теоретические вопросы</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Основные закономерности изменения характеристик различных материалов и приборных структур при проведении импульсного отжига в различных режимах; 2. Специфика отжига частично разупорядоченных полупроводниковых слоев. Общая характеристика радиационных дефектов. 3. Методика расчета кинетики отжига радиационных дефектов. 4. Роль аtermических факторов (ионизация, ударная кристаллизация, локальное плавление) в процессах кристаллизации аморфизированных слоев и отжига дефектов. 5. Структурные несовершенства, возникающие в приповерхностных слоях полупроводников при импульсной обработке. 6. Специфика поведения имплантированной примеси в приповерхностной области полупроводника при проведении импульсных обработок: 7. Поведение имплантированной примеси в полупроводниках после проведения импульсного отжига в миллисекундном диапазоне. 8. Поведение имплантированной примеси в полупроводниках после проведения импульсного отжига в наносекундном диапазоне. 9. Физические механизмы, приводящие к перераспределению примесных атомов при импульсном отжиге. 10. Электрические свойства импульсно отожженных слоев полупроводника. Температурная стабильность достигаемых характеристик 11. Основные закономерности импульсного отжига аморфизированных слоев полупроводника в миллисекундном диапазоне. 12. Основные закономерности импульсного отжига аморфизированных слоев полупроводника в наносекундном диапазоне 13. Основные закономерности импульсного отжига частично разупорядоченных слоев полупроводника в миллисекундном диапазоне 14. Основные закономерности импульсного отжига частично разупорядоченных слоев полупроводника в наносекундном диапазоне. 15. Методика измерения времени жизни носителей заряда. 16. Методика измерения удельного сопротивления полупроводников 4-х зондовым методом. <p>Типовые задачи</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Рассчитать скорость движения фронта кристаллизации аморфизированного слоя кремния при лазерном отжиге, если температура слоя составляет 1000 К. 2. Определить длительность импульса лазерного излучения, необходимую для кристаллизации аморфизированного слоя кремния толщиной 0,2 мкм при температуре 1200 К. 3. Найти температуру, необходимую для рекристаллизации аморфизированного слоя кремния толщиной 800 нм при лазерном отжиге с длительностью импульса 20 мс. 4. Определить температуру, необходимую для снижения концентрации Е-центров ($E_a=1,1$ эВ) в кремниевой пластине в пять раз, при лазерном отжиге с длиной волны 0,69 мкм и длительностью импульса 25 мс. 5. Определить, во сколько раз изменится концентрация J-центров ($E_a=1,1$ эВ) в кремниевой пластине толщиной 500 мкм после лазерного отжига с длиной волны 0,69 мкм, потоком энергии 15 Дж/см² и длительностью импульса 20 мс, если средняя температура пластины составляет 550 оС. 6. Рассчитать длительность лазерной обработки (длина волны 1,06 мкм, $F=15$ Дж/см²), необходимую для снижения концентрации А-центров в кремниевой подложке толщиной 300 мкм ($E_a=1,6$ эВ) в ϵ-раз (средняя температура подложки 1150 оС.) |
|-----|-----------------------|---|---|

| | | | |
|-----|------------|---|---|
| | | | <p>7. Определить энергию активации отжига К-центров в кремниевой подложке толщиной 300 мкм, если длительность лазерной обработки (длина волны 1,06 мкм, $F=25$ Дж/см²) составляет 70 мс, а концентрация К-центров при этом снижается в 10 раз (средняя температура подложки 850 оС.).</p> <p>8. Оценить, возможно ли в приповерхностной области кремния изменение профиля имплантации ионов фосфора, имплантированных с энергией 100 кэВ и дозой 1016 см⁻², при проведении лазерного отжига в режиме: $F=0,6$ Дж/см², $t=20$ нс, $l=0,69$ мкм ($R_p=123,3$ нм, $\square R_p=35,4$ нм, $D_{kr}=1015$ см⁻²).</p> |
| КМЗ | Защита РГР | ПК-3-31;ПК-3-32;ПК-3-У1;ОПК-1-31;ОПК-1-У1;УК-1-31;УК-1-У1;УК-1-В1 | <p>Теоретические вопросы</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Принципы работы источников импульсного излучения и общие закономерности взаимодействия низкоэнергетического излучения с веществом: 2. Типы источников импульсного излучения, их характеристики, области применения. 3. Характеристика основных эффектов, проявляющихся при взаимодействии высокоинтенсивного излучения с веществом. 4. Взаимодействие низкоэнергетического электронного излучения с твердым телом. Механизмы потерь энергии. 5. Методика расчета распределения температуры в кристаллах при лазерном отжиге. 6. Специфика отжига частично разупорядоченных полупроводниковых слоев. Общая характеристика радиационных дефектов. 7. Методика расчета кинетики отжига радиационных дефектов. 8. Роль атермических факторов (ионизация, ударная кристаллизация, локальное плавление) в процессах кристаллизации аморфизированных слоев и отжига дефектов. 9. Поведение имплантированной примеси в полупроводниках после проведения импульсного отжига в миллисекундном диапазоне. 10. Поведение имплантированной примеси в полупроводниках после проведения импульсного отжига в наносекундном диапазоне. 11. Физические механизмы, приводящие к перераспределению примесных атомов при импульсном отжиге. |

| | | | |
|-----|-----------------------|---|--|
| КМ4 | Контрольная работа №3 | ПК-3-У1;ОПК-1-31;ОПК-1-У1;УК-1-31;УК-1-У1;УК-1-В1;ПК-3-31;ПК-3-32 | <p>Теоретические вопросы</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Особенности импульсного отжига полупроводниковых соединений АЗВ5 . 2. Отжиг имплантированной примеси в арсениде галлия. 3. Модификация параметров полевых транзисторов на основе арсенида галлия при импульсном отжиге. 4. Формирование и модификация квантовых точек в наноструктурах Ge/Si импульсным излучением 5. Специфика импульсного отжига кремниевых наноструктур. 6. Основные закономерности использования импульсного излучения для рекристаллизации аморфных пленок. 7. Использование импульсного излучения для улучшения характеристик поликристаллических пленок 8. Применение импульсного излучения для формирования пленок силицидов металлов. 9. Специфика импульсного отжига структур диэлектрик-полупроводник. 10. Методика измерение удельного сопротивления полупроводников. 11. Методика измерения времени жизни носителей заряда в диодных структурах 12. Методика расчета заряда в структурах диэлектрик-полупроводник. 13. Методы анализа структуры поверхности материалов при импульсных обработках. 14. Методика исследования параметров МДП структур при проведении импульсных обработок. <p>Типовые задачи</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Определить длительность обработки, необходимой для образования пленки силицида толщиной 0,5 мкм при $T=750$ оС, если энергия активации процесса составляет 1,3 эВ, $A=2 \cdot 10^{-3}$ см²/с. 2. Определить толщину пленки силицида палладия, если энергия активации процесса составляет 0,9 эВ, длительность импульса 10 мс, $T=600$ оС, $A=2 \cdot 10^{-3}$ см²/с. 3. Определить температуру, необходимую для образования пленки силицида палладия толщиной 0,5 мкм, если энергия активации процесса составляет 1,5 эВ, длительность импульса 0,1 мс, $A=3 \cdot 10^{-3}$ см²/с. 4. Определить энергию активации процесса формирования силицида, если при воздействии лазерного излучения при температуре 800 оС за время 50 с вырастает пленка толщиной 0,8 мкм ($A=2 \cdot 10^{-3}$ см²/с). 5. Рассчитать величину коэффициента пропускания излучения с длиной волны 0,69 мкм пленкой оксида кремния толщиной 100 нм (коэффициент преломления излучения $n=1,46$, коэффициенты отражения излучения от границ раздела равны: $R1=0,443$ и $R2=0,185$). |
|-----|-----------------------|---|--|

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-3-У1;ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;УК-1-31 | Расчет распределения температуры в полупроводниках при лазерном и фотонном отжиге |
| P2 | Лабораторная работа №1 | ПК-3-У1;ПК-3-В1;ОПК-1-31;УК-1-31;УК-1-У1;ПК-3-31 | "Методы контроля параметров структур, подвергнутых импульсной обработке". |
| P3 | Практическое занятие №2 | ПК-3-У1;ОПК-1-31;ОПК-1-У1;УК-1-31;УК-1-У1;ПК-3-31 | Расчет распределения температуры в полупроводниках при электронно-лучевом отжиге |

| | | | |
|----|-------------------------|--|--|
| P4 | Лабораторная работа №2 | ПК-3-У1;ПК-3-В1;ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;УК-1-31;УК-1-У1;УК-1-В1;ПК-3-31;ПК-3-32 | "Управление параметрами солнечных элементов с использованием операций импульсного отжига" |
| P5 | Практическое занятие №3 | ПК-3-У1;ОПК-1-31;ОПК-1-У1;УК-1-31;УК-1-У1;ПК-3-31 | Расчет скорости кристаллизации аморфных слоев при использовании импульсного излучения. Кинетика радиационных дефектов в полупроводниках при импульсном отжиге. |
| P6 | Лабораторная работа №3 | ПК-3-У1;ПК-3-В1;ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;УК-1-31;УК-1-У1;УК-1-В1;ПК-3-31;ПК-3-32 | "Изменение удельного сопротивления полупроводника при лучевых обработках" |
| P7 | Практическое занятие №4 | ПК-3-У1;ОПК-1-31;ОПК-1-У1;УК-1-31;УК-1-У1;ПК-3-31;ПК-3-32 | Расчет толщин слоев силицидов металлов, формирующихся при лучевой импульсной обработке |
| P8 | Лабораторная работа №4 | ПК-3-У1;ПК-3-В1;ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;УК-1-31;УК-1-У1;УК-1-В1;ПК-3-31;ПК-3-32 | "Влияние импульсных обработок на параметры структур диэлектрик-полупроводник" |
| P9 | Выполнение РГР | ПК-3-У1;ПК-3-31;ПК-3-32;ОПК-1-31;ОПК-1-У1;УК-1-31 | «Расчет температурных зависимостей и кинетики отжига радиационных дефектов в полупроводниках». |

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

Экзамен по курсу не предусмотрен

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

По дисциплине для получения зачета студент должен полностью выполнить учебный план: написать все контрольные работы, выполнить и защитить все лабораторные работы, выполнить и защитить расчетно-графическую работу (РГР).

Оценки за контрольные работы выставляются по следующим критериям:

- а) «отлично» – студент правильно решил задачи и полно ответил на все теоретические вопросы;
- б) «хорошо» – студент решил задачи и недостаточно полно ответил на все теоретические вопросы;
- в) «удовлетворительно» – студент неправильно решил задачи, неполно ответил на теоретические вопросы;
- г) «неудовлетворительно» – студент не решил задачу, не ответил на теоретические вопросы.

Защита РГР происходит в электронной среде Canvas. Оценка за РГР выставляется по следующим критериям:

- а) «отлично» – студент правильно провел необходимые расчеты, представил графики зависимостей, сделал правильные выводы, всерьез ответил на вопросы при защите работы;
- б) «хорошо» – студент правильно или с небольшими ошибками провел необходимые расчеты, представил графики зависимостей, сделал правильные выводы, недостаточно полно ответил на вопросы при защите работы;
- в) «удовлетворительно» – студент провел необходимые расчеты с незначительными ошибками, представил неверные графики зависимостей, сделал неполные или неправильные выводы, недостаточно полно ответил на вопросы при защите работы;
- г) «неудовлетворительно» – студент провел необходимые расчеты с грубыми ошибками, представил неверные графики зависимостей, сделал неправильные выводы, не ответил или ответил неверно на вопросы при защите работы;.

Оценка за зачет формируется как среднеарифметическое за все контрольные работы и РГР

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|---------------------|---|------------------------|---------------------|
| Л1.1 | Кузовкин В. А. | Электроника. Электрофизические основы, микросхемотехника, приборы и устройства: учебник | Электронная библиотека | Москва: Логос, 2011 |

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|------------------------------------|---|------------------------|--------------------------|
| Л1.2 | Чаплыгин Ю. А. | Нанотехнологии в электронике | Электронная библиотека | Москва: Техносфера, 2013 |
| Л1.3 | Пархоменко Ю. Н., Полисан А. А. | Физика и технология приборов фотоники. Солнечная энергетика и нанотехнологии: учеб. пособие | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МИСиС, 2014 |

6.1.2. Дополнительная литература

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|-------|---|---|------------------------|---|
| Л2.1 | Солнцев Ю. П., Пряхин Е. И., Воложанина С. А., Петкова А. П., Солнцев Ю. П. | Нанотехнологии и специальные материалы: учебное пособие | Электронная библиотека | Санкт-Петербург: Химиздат, 2020 |
| Л2.2 | Разумовская И. В. | Физика твердого тела: учебное пособие | Электронная библиотека | Москва: Прометей, 2011 |
| Л2.3 | Кларк Э. Р., Эберхардт К. Н., Баженов С. Л. | Микроскопические методы исследования материалов: монография | Электронная библиотека | Москва: РИЦ Техносфера, 2007 |
| Л2.4 | Орликов Л. Н. | Технология материалов и изделий электронной техники: учебное пособие | Электронная библиотека | Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012 |
| Л2.5 | Филимонова Н. И., Кольцов Б. Б. | Методы исследования микроэлектронных и нанoeлектронных материалов и структур: сканирующая зондовая микроскопия: учебное пособие | Электронная библиотека | Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013 |
| Л2.6 | Верещагина Я. А. | Инновационные технологии: введение в нанотехнологии: учебное пособие | Электронная библиотека | Казань: Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2009 |
| Л2.7 | Сазонов Р. В., Холодная Г. Е., Кайканов М. И., и др. | Импульсные электронные пучки в плазмохимических и радиационных технологиях. Лабораторный практикум: учебное пособие | Электронная библиотека | Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2015 |
| Л2.8 | Светличный А. М., Житяев И. Л. | Фотонно-стимулированные технологические процессы микро- и нанотехнологии: учебное пособие | Электронная библиотека | Ростов-на-Дону, Таганрог: Южный федеральный университет, 2017 |
| Л2.9 | Малоков С. П., Саенко А. В., Клунникова Ю. В., Палий А. В. | Лазеры в микро- и нанoeлектронике: учебное пособие | Электронная библиотека | Ростов-на-Дону, Таганрог: Южный федеральный университет, 2018 |
| 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 | Лебедев В. Ф. | Лазерная фотоника: учебно-методическое пособие | Электронная библиотека | Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2019 |
| Л2.13 | Кузнецов Н. Т., Новоторцев В. М., Жабров В. А., Марголин В. И. | Основы нанотехнологии: учебник | Электронная библиотека | Москва: Лаборатория знаний, 2017 |

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|-------|--|---|------------------------|---------------------|
| Л2.14 | Бублик В. Т., Мильвидский А. М. | Методы исследования материалов и структур электроники. Рентгеновская дифракционная микроскопия: курс лекций | Электронная библиотека | М.: Учеба, 2006 |
| Л2.15 | Куриосов А. И., Юдин В. В. | Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем: Учеб. пособие для вузов по спец. 'Полупроводники и диэлектрики' и 'Полупроводниковые приборы' | Библиотека МИСиС | М.: Высш. шк., 1986 |
| Л2.16 | Зи С. М., Трутко А. Ф. | Физика полупроводниковых приборов: пер. с англ. | Библиотека МИСиС | М.: Энергия, 1973 |
| Л2.17 | Мартынов В. Н., Маняхин Ф. И., Паничкин А. В., Кобелева С. П. | Физика твердого тела: Лаб. практикум для студ. спец. 2001, 2002, 0710 и направл. 5507, 5516, 5531 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 2000 |
| Л2.18 | Вяткин А. Ф. | Взаимодействие лазерных, электронных и ионных пучков с поверхностью твердых тел: Ч.1: Основы физики лазерного излучения: Курс лекций для студ. спец. 5401, 0709, 0710 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 2001 |
| Л2.19 | Ладыгин Е. А., Паничкин А. В., Горюнов Н. Н., др. Е. А., Ладыгин | Основы радиационной технологии микроэлектроники: Разд.: Первичные процессы образования радиационных центров в полупроводниковых кристаллах: курс лекций для студ. спец. 20.03 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 1994 |
| Л2.20 | Ладыгин Е. А., Горюнов Н. Н., Паничкин А. В., Галеев А. П. | Основы радиационной технологии микроэлектроники: Разд.: Радиационные эффекты в МПД и КМД структурах интегральных схем: Лаб. практикум | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 1997 |
| Л2.21 | Вяткин А. Ф. | Взаимодействие лазерных, электронных и ионных пучков с поверхностью твердых тел: Ч.2. Применение лазерных и электронных пучков для обработки поверхности материалов: Курс лекций для студ спец. 5401, 0709 и 0710 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 2001 |
| Л2.22 | Вяткин А. Ф. | Взаимодействие лазерных, электронных и ионных пучков с поверхностью твердых тел: Ч.3: Взаимодействие ионных пучков с поверхностью твердых тел: Курс лекций для студ. спец. 5401, 0709 и 0710 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 2001 |

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|-------|----------------------------------|--|------------------|------------------------|
| Л2.23 | Кузнецов Г. Д. | Расчеты параметров взаимодействия ускоренных ионов с твердым телом: учеб. -метод. пособие | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 2005 |
| Л2.24 | Дзидзигури Э. Л., Сидорова Е. Н. | Процессы получения наночастиц и наноматериалов. Нанотехнологии: учеб. пособие | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МИСиС, 2012 |
| Л2.25 | Кузнецов Г. Д., Кушхов А. Р. | Физика взаимодействия ускоренных ионов, электронов и атомов с веществом. Ускоренные электроны: учеб. пособие | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МИСиС, 2012 |
| Л2.26 | Юрчук С. Ю. | Основы математического моделирования: учеб. пособие | Библиотека МИСиС | М.: Изд-во МИСиС, 2014 |

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

| | | |
|----|--|---|
| Э1 | Курс "Фмзмка импульсного отжига" в Canvas | https://lms.misis.ru/login/ldap |
| Э2 | Электронная библиотека МИСиС | http://elibrary.misis.ru/ |
| Э3 | Единое окно доступа к образовательным ресурсам | window.edu.ru |
| Э4 | ЭБС "Лань" | https://e.lanbook.com |

6.3 Перечень программного обеспечения

| | |
|-----|---|
| П.1 | Лицензии ПО Windows Server CAL ALNG LicSAPk MVL DvcCAL, ПО WinEDUA3 ALNG SubsVL MVL PerUsr и PerUsr |
| П.2 | Win Pro 10 32-bit/64-bit |

6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

| | |
|-----|--|
| И.1 | eLIBRARY.RU: http://elibrary.ru/ |
| И.2 | Nano a natureresearch solution https://nano.nature.com |
| И.3 | SpringLink https://link.springer.com/ |
| И.4 | Курс "Фмзмка импульсного отжига" на платформе MLS "Canvas" https://lms.misis.ru/login/ldap |
| И.5 | Электронная библиотека МИСиС http://elibrary.misis.ru/ |
| И.6 | Единое окно доступа к образовательным ресурсам window.edu.ru |
| И.7 | ЭБС "Лань" https://e.lanbook.co |

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

| Ауд. | Назначение | Оснащение |
|--------------------------------|--|---|
| Любой корпус Мультимедийная | Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий: | комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus |
| Любой корпус Мультимедийная | Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий: | комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus |

| | | |
|------------------------------------|-------------|---|
| К-505 | Лаборатория | установка измерения удельного сопротивления 4-х зондовым методом (вольтметр В7-21А; вольтметр В7-77; источник питания Motech LPS-305, 4-х зондовая головка); установка измерения времени жизни н.н.з. (осциллограф С1-99, генератор Г5-54); установка измерения статических параметров ИС (измеритель Л2-41, вольтметр В7-21А); установка измерения пороговых ВАХ МДП-транзисторов (вольтметрВ7-21А, источник питания Motech LPS-305); установка измерения динамических параметров ИС (осциллографС1-96, генератор Г5-54, источник питания Motech LPS-305; печь для отжига полупроводниковых структур; ПК; пакет лицензионных программ MS Office, комплект учебной мебели |
| Читальный зал №3 (Б) | | комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 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. |

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Методические указания по выполнению лабораторных работ, расчетно-графической работы по курсу "Физика импульсного отжига". Библиотека кафедры в электронном виде и на бумажном носителе.

При изучении дисциплины рекомендуется осваивать материал до проведения занятия, используя указанную литературу в разделе "Содержание", методические указания.

Все материалы по дисциплине: курс лекций по разделам, презентации, типовые вопросы и задачи, задание на выполнение РГР, методические указания по выполнению лабораторных работ, расчетно-графической работы, рекомендуемая литература,- приведены в соответствующем курсе на платформе MLS "Canvas".