

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 09.07.2023 20:53:27

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 взаимодействия частиц и излучений с веществом

Закреплена за подразделением

Кафедра технологии материалов электроники

Направление подготовки

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **4 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 144

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

зачет с оценкой 8

аудиторные занятия 48

самостоятельная работа 96

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	8 (4.2)		Итого	
	Неделя 12			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	12	12	12	12
Лабораторные	12	12	12	12
Практические	24	24	24	24
Итого ауд.	48	48	48	48
Контактная работа	48	48	48	48
Сам. работа	96	96	96	96
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

*ктн, Доцент, Сергиенко Андрей Алексеевич; ктн, Доцент, Курочка Александр Сергеевич*

Рабочая программа

**Физика взаимодействия частиц и излучений с веществом**

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 технологии материалов электроники**

Протокол от 18.06.2020 г., №10

Руководитель подразделения Костишин В. Г.

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	Цель освоения дисциплины – формирование компетенций в соответствии с учебным планом, а также получение студентами теоретических фундаментальных знаний по физике взаимодействия ускоренных частиц и излучений с твёрдым телом и атомно-молекулярным процессам кристаллизации. Наука поможет решить ряд инженерных задач, стоящих перед выпускниками в их трудовой деятельности
-----	--

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.10
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Дефекты в оптоэлектронных полупроводниковых приборах на широкозонных материалах	
2.1.2	Ионно-плазменная обработка материалов	
2.1.3	Компьютерные технологии проектирования процессов наноэлектроники	
2.1.4	Материаловедение ферритов и родственных магнитных систем	
2.1.5	Методы исследования материалов и структур электроники	
2.1.6	Наноэлектроника полупроводниковых приборов и устройств	
2.1.7	Основы проектирования электронной компонентной базы. Пакеты прикладных программ	
2.1.8	Основы технологии электронной компонентной базы. Технология тонких пленок	
2.1.9	Полевые полупроводниковые приборы	
2.1.10	Полупроводниковая наноэлектроника	
2.1.11	Физико-математические модели процессов наноэлектроники	
2.1.12	Функциональная наноэлектроника	
2.1.13	Материаловедение полупроводников и диэлектриков	
2.1.14	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.15	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.16	Физика конденсированного состояния	
2.1.17	Безопасность жизнедеятельности	
2.1.18	Метрология, стандартизация и технические измерения в магнитоэлектронике	
2.1.19	Метрология, стандартизация и технические измерения в полупроводниковой электронике	
2.1.20	Статистическая физика	
2.1.21	Электроника	
2.1.22	Математическая статистика и анализ данных	
2.1.23	Методы математической физики	
2.1.24	Практическая кристаллография	
2.1.25	Учебная практика по получению первичных профессиональных умений	
2.1.26	Учебная практика по получению первичных профессиональных умений	
2.1.27	Физика	
2.1.28	Физическая химия	
2.1.29	Математика	
2.1.30	Органическая химия	
2.1.31	Химия	
2.1.32	Инженерная и компьютерная графика	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	

**3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ**

**УК-2:** Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения

**Знать:**

УК-2-33 Физико-химические основы атомно-молекулярных процессов формирования микро- и наноразмерных слоёв

**ПК-2:** Способность контролировать соблюдение режимов технологических операций, процессов производства изделий микроразмерной электроники

<b>Знать:</b>
ПК-2-32 Технологические факторы, вызывающие погрешности изготовления изделий микроэлектроники
<b>УК-2: Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения</b>
<b>Знать:</b>
УК-2-31 Физические основы взаимодействия ускоренных ионов и электронов с твёрдым телом
УК-2-32 Направления совершенствования технологии тонкоплёночных материалов электронной техники
<b>ПК-2: Способность контролировать соблюдение режимов технологических операций, процессов производства изделий микроэлектроники</b>
<b>Уметь:</b>
ПК-2-У2 Использовать контрольно-измерительное оборудование для контроля режимов технологических операций процессов производства изделий микроэлектроники
<b>УК-2: Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения</b>
<b>Уметь:</b>
УК-2-У1 Обосновывать целесообразность применения закономерностей взаимодействия атомных, молекулярных, ионных и электронных потоков частиц с веществом для получения и обработки материалов электронной техники с заданными свойствами
<b>ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области</b>
<b>Уметь:</b>
ОПК-2-У1 Анализировать эффекты взаимодействия потоков частиц и излучений с твёрдым телом
<b>ПК-2: Способность контролировать соблюдение режимов технологических операций, процессов производства изделий микроэлектроники</b>
<b>Владеть:</b>
ПК-2-В1 Методами измерений геометрических и электрофизических параметров микро- и наноразмерных плёночных структур, полученных при использовании нетермически активируемых процессов

#### 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
	<b>Раздел 1. Основные направления развития микро- и нанoeлектроники</b>							
1.1	Направления совершенствования микротехнологии тонкоплёночных материалов электронной техники. Критерии прогрессивности микро- и нанотехнологии. Субмикронная технология, субмикронные элементы и нанoeлектроника /Лек/	8	3	УК-2-31 УК-2-32 УК-2-33 ПК-2-32	Л1.2Л2.7 Л2.9			
1.2	Подготовка к проведению и защите практических и лабораторных работ /Ср/	8	96	УК-2-32 УК-2-33 УК-2-У1 ОПК-2-У1 ПК-2-32 ПК-2-У2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.4 Л2.5 Л2.6 Л2.7 Л2.8 Л2.10			
	<b>Раздел 2. Физические основы взаимодействия ускоренных ионов с твёрдым телом</b>							

2.1	Энергетика взаимодействия ионов с веществом. Ионное распыление однокомпонентных материалов. Ионное распыление многокомпонентных материалов. Внедрение ионов в материалы. Возникновение первичных и вторичных структурных дефектов при ионной бомбардировке поверхности твёрдого тела. Ионное активирование процессов адсорбции и десорбции атомов молекул /Лек/	8	3	УК-2-31 ПК-2-32	Л1.2Л2.7 Л2.9			
2.2	Расчёт потерь энергии ускоренными ионами при столкновении с атомами твёрдого тела /Пр/	8	8	УК-2-У1 ОПК-2-У1 ПК-2-У2	Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6		КМ2	Р1
2.3	Расчёт параметров ионного распыления материалов /Пр/	8	8	УК-2-31 УК-2-У1 ОПК-2-У1 ПК-2-У2	Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6		КМ3	Р2
2.4	Расчёт параметров дефектообразования при ионной бомбардировке твёрдого тела /Пр/	8	8	УК-2-У1 ОПК-2-У1 ПК-2-32	Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6		КМ4	Р3
2.5	Расчёт параметров дефектообразования при ионной бомбардировке твёрдого тела /Лаб/	8	3	УК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-2-32 ПК-2-В1	Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6		КМ5	Р4
	<b>Раздел 3. Физические основы взаимодействия электронов и излучений с веществом</b>							
3.1	Энергетика взаимодействия ускоренных электронов с твёрдым телом. Электронное активирование поверхностных процессов фазообразования. Основы влияния электромагнитного излучения на протекание химических процессов /Лек/	8	3	УК-2-31 ПК-2-32	Л1.2Л2.7 Л2.10			
3.2	Измерение характеристик и параметров вторичной электронной эмиссии /Лаб/	8	3	УК-2-31 ПК-2-У2 ПК-2-В1	Л1.2Л2.8 Л2.10		КМ6	Р5
	<b>Раздел 4. Физико-химические основы атомно-молекулярных процессов формирования микро- и наноразмерных слоёв</b>							

4.1	Атомная структура кристаллической поверхности. Начальные стадии формирования кристаллических микро- и наноразмерных слоёв. Кинетика роста микро- и наноразмерных слоёв. Основные дефекты роста кристаллических слоёв /Лек/	8	3	УК-2-31 УК-2-32 УК-2-33 ПК-2-32	Л1.2Л2.1 Л2.4 Л2.7			
4.2	Расчёт параметров поверхностной диффузии при формировании нанослоёв /Лаб/	8	3	УК-2-У1 ОПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.2Л2.2 Л2.3 Л2.4		КМ7	Р6
4.3	Расчёт скорости роста эпитаксиальных слоёв из молекулярных пучков /Лаб/	8	3	УК-2-У1 ОПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4		КМ8	Р7

### 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	Вопросы к зачету	УК-2-31;ПК-2-32;УК-2-32;УК-2-33	Опишите процессы взаимодействия частиц и излучения с твердым телом. Назовите основные виды энергетических потерь при внедрении ионов и электронов в твердое тело. Опишите процессы распыления одно- и многокомпонентных систем. Опишите процессы активации адсорбции и десорбции под действием ионного пучка. Опишите процессы ионного легирования и эффект каналирования. Опишите процессы зародышеобразования и зарастания сплошного слоя. Какие методы расчета энергетических потерь, анализа состава и структурного совершенства Вы знаете? Назовите критерии выбора оптимальных условий распыления мишеней для нанесения тонких пленок. Как распределяется концентрация легирующей примеси при ионной имплантации?
КМ2	Контрольные вопросы для защиты практической работы №1	УК-2-У1;ПК-2-У2;ОПК-2-У1	Какие виды потерь энергии ионами при взаимодействии с поверхностью твердого тела? При каких энергиях ионов возникают упругие потери энергии?
КМ3	Контрольные вопросы для защиты практической работы №2	УК-2-31;УК-2-У1;ПК-2-У2;ОПК-2-У1	При каких энергиях ионов начинается распыление атомов поверхности твердого тела? От чего зависит коэффициент распыления?
КМ4	Контрольные вопросы для защиты практической работы №3	УК-2-У1;ПК-2-32;ОПК-2-У1	Какие дефекты в твердом теле Вы знаете? Какие дефекты возникают в приповерхностной области твердого тела при ионной бомбардировке?
КМ5	Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы №1	ПК-2-В1;УК-2-31;ПК-2-32;ОПК-2-У1	Приведите формулу для расчета количества дефектов в твердом теле при ионной бомбардировке. От каких параметров ионов зависит дефектообразование в твердом теле?

КМ6	Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы №2	ПК-2-В1;ПК-2-У2;УК-2-31	Дайте определение вторичной электронной эмиссии? Какие виды вторичной электронной эмиссии Вы знаете? От чего зависит коэффициент вторичной электронной эмиссии?
КМ7	Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы №3	УК-2-У1;ПК-2-В1;ОПК-2-У1	От каких параметров зависит скорость поверхностной диффузии атомов? Как влияет температура подложки на поверхностную диффузию?
КМ8	Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы №4	ПК-2-В1;УК-2-У1;ОПК-2-У1	От каких параметров зависит скорость роста пленки? От чего зависит скорость потока молекул на поверхность?

### 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
Р1	Практическая работа №1 Взаимодействие ускоренных ионов	УК-2-У1;ПК-2-У2;ОПК-2-У1	Расчёт потерь энергии ускоренными ионами при столкновении с атомами твёрдого тела
Р2	Практическая работа №2 Ионное распыление материалов	УК-2-31;УК-2-У1;ПК-2-У2;ОПК-2-У1	Расчёт параметров ионного распыления материалов
Р3	Практическая работа №3 Дефектообразование при ионной бомбардировке твёрдого тела	УК-2-У1;ПК-2-32;ОПК-2-У1	Расчёт параметров дефектообразования при ионной бомбардировке твёрдого тела
Р4	Лабораторная работа №1 Дефектообразование при ионной бомбардировке твёрдого тела	ПК-2-В1;УК-2-31;ПК-2-32;ОПК-2-У1	Расчёт параметров дефектообразования при ионной бомбардировке твёрдого тела
Р5	Лабораторная работа №2 Вторичная электронная эмиссия	ПК-2-В1;ПК-2-У2;УК-2-31	Измерение характеристик и параметров вторичной электронной эмиссии
Р6	Лабораторная работа №3 Поверхностная диффузия при формировании нанослоёв	УК-2-У1;ПК-2-В1;ОПК-2-У1	Расчёт параметров поверхностной диффузии при формировании нанослоёв
Р7	Лабораторная работа №4 Рост эпитаксиальных слоёв из молекулярных пучков	ПК-2-В1;УК-2-У1;ОПК-2-У1	Расчёт скорости роста эпитаксиальных слоёв из молекулярных пучков

### 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)

Обучающийся для получения зачета должен выполнить все работы, указанные в данном разделе. Оценка формируется как среднеарифметическая из оценок за текущие практические и лабораторные работы

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Рекомендуемая литература

**6.1.1. Основная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	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
Л1.2	Крапухин В. В., Соколов И. А., Кузнецов Г. Д.	Технология материалов электронной техники: Теория процессов полупроводниковой технологии: Учебник для вузов	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 1995

**6.1.2. Дополнительная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Кожитов Л. В., Косушкин В. Г., Крапухин В. В., Пархоменко Ю. Н.	Технология материалов микро- и нанoeлектроники	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2007
Л2.2	Крапухин В. В., Кожитов Л. В.	Технология эпитаксиальных гетерокомпозиций: Лаб. практикум для студ. спец. 200102	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1998
Л2.3	Крапухин В. В., Кожитов Л. В., Полистанский Ю. Г., др., Крапухин В. В.	Технология многослойных структур для микроэлектроники: лаб. практикум для студ. спец. 0643 -'Технология спец. материалов электронной техники' специализация 'Материалы для микроэлектроники'	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1987
Л2.4	Кожитов Л. В., Крапухин В. В., Улыбин В. А.	Технология эпитаксиальных слоев и гетерокомпозиций: Учебно-метод. пособие для студ. спец. 200100	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2001
Л2.5	Кузнецов Г. Д.	Расчеты параметров взаимодействия ускоренных ионов с твердым телом: учеб. -метод. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2005
Л2.6	Кузнецов Г. Д.	Технология материалов электронной техники. Атомно-молекулярные процессы кристаллизации: учебно-метод. пособие для студ. вузов напр. Физ. материаловедение и спец. Наноматериалы	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2006
Л2.7	Кузнецов Г. Д., Кушхов А. Р.	Ионно-плазменная обработка материалов: курс лекций	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2008



	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.8	Кузнецов Г. Д., Сергиенко А. А., Симакин С. Б., др.	Элионная технология в микро- и наноиндустрии. Неразрушающие методы контроля процессов осаждения и травления наноразмерных пленочных гетерокомпозиций: учеб. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2012
Л2.9	Кузнецов Г. Д., Кушхов А. Р., Сергиенко А. А., Харламов Н. А.	Элионная технология в микро- и наноиндустрии. Ускоренные ионы: учеб. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2012
Л2.10	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

### 6.3 Перечень программного обеспечения

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

### 6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
К-433	Лаборатория	установки для напыления пленок УВН (4 шт.), вакуумный пост ВУП-5, установка для травления Плазма 600, микроинтерферометр МИИ-4, набор демонстрационного оборудования, в том числе: мультимедийный проектор, экран проекционный, комплект учебной мебели на 20 посадочных мест
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
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.

## 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Дисциплина относится к точным наукам и требует значительного объема самостоятельной работы. Отдельные учебные вопросы выносятся на самостоятельную проработку и контролируются посредством текущей аттестации. При этом организуются групповые и индивидуальные консультации. Качественное освоение дисциплины возможно только при систематической самостоятельной работе. Расчетно-графические работы выполняются с помощью компьютерных программ.