

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Беспалов Владимир Александрович  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 01.09.2023 15:56:21  
Уникальный программный ключ:  
ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736d76c8f8bea882b8d602

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский университет  
«Московский институт электронной техники»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
И.Г. Игнатова  
«21» сентября 2023 г.  
М.П.



### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Ионная обработка и модификация полупроводниковых структур»  
Направление подготовки – 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»  
Направленность (профиль) – «Нанодиагностика материалов и структур»

Москва 2020

## 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

**Компетенция ПК-4** «Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов» сформулирована на основе профессионального стандарта **40.104 «Специалист по измерению параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур»**

**Обобщенная трудовая функция:** D 7 Руководство подразделениями по измерениям параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур

**Трудовая функция:** D/01.7 Организация и контроль процессов измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур

<b>Подкомпетенция, формируемая в дисциплине</b>	<b>Задачи профессиональной деятельности</b>	<b>Индикаторы достижения подкомпетенций</b>
ПК-4 ИОМПС «Способен выполнять обработку и локальную модификацию материалов, микро- и наноструктур плазмохимическими и ионно-лучевыми методами»	Разработка методики и проведение исследований и измерений параметров и характеристик изделий электронной техники, анализ их результатов	<b>Знает</b> возможности и области применения плазмохимических и ионно-лучевых методов обработки и локальной модификации материалов, микро- и наноструктур <b>Умеет</b> самостоятельно рассчитывать параметры процессов при использовании плазмохимических и ионно-лучевых методов обработки и локальной модификации материалов, микро- и наноструктур <b>Имеет опыт</b> использования плазмохимических и ионно-лучевых методов обработки и локальной для модификации материалов, микро- и наноструктур

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Входные требования к дисциплине – у обучающегося до начала изучения дисциплины должны быть сформированы компетенции в соответствии с программой бакалавриата по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоёмкость (ЗЕ)	Общая трудоёмкость (часы)	Контактная работа				Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Практические занятия (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практическая подготовка		
1	2	3	108	-	32	-	16	76	За

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Практические занятия (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практическая подготовка(часы)		
1 Ионно-плазменная обработка	-	4	-	8	24	Опрос
						Тестирование
						Контрольная работа №1
2 Ионно-пучковая обработка	-	6	-	4	20	Опрос
						Тестирование
						Контрольная работа №2
3 Обработка фокусированным ионным пучком	-	6	-	4	32	Опрос
						Тестирование
						Контрольная работа №3
						Сдача и защита практико-ориентированного задания

#### 4.1. Лекционные занятия

Не предусмотрены

#### 4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
1	1	2	Типы и характеристики реакторов ионно-плазменной обработки. Механизмы возбуждения плазмы
	2	4	Практическая подготовка Реактивное ионное травление диэлектриков в неселективном процессе. Методы контроля процесса травления и результатов травления
	3	2	Применение специальных технологических газов. Методики контроля процессов обработки Контрольная работа №1
	4	4	Практическая подготовка Реактивное ионное травление диэлектриков в селективном процессе. Методы отчистки поверхности от углерода и полимерных загрязнений
2	5	2	Типы ионных источников. Зависимость скорости распыления материалов от энергии и угла падения ионов
	6	2	Применение специальных технологических газов. Управление процессом обработки. Компенсация заряда поверхности образца. Методики контроля процессов обработки
	7	2	Процессы ионной имплантации. Устройство установки ионной имплантации. Пробег в материале мишени. Радиационные эффекты Контрольная работа №2
	8	4	Практическая подготовка Травление слоев диэлектрика и металла ионным пучком. Сглаживание рельефа поверхности
3	9	2	Устройство и принцип работы с фокусированным ионным пучком
	10	2	Травление и осаждение материалов фокусированным ионным пучком
	11	4	Практическая подготовка Травление и осаждение материалов фокусированным ионным пучком. Управление процессом обработки. Контроль над проведением процессов
	12	2	Управление процессом обработки. Контроль над проведением процессов Контрольная работа №3

#### 4.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

#### 4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	10	Работа с учебной литературой: материалами семинарских занятий, учебниками и учебными пособиями
	8	Изучение материалов к практической подготовке: изучение теоретического материала и схемы эксперимента, подготовка конспекта, подготовка ответов на контрольные вопросы
	2	Аудиторное выполнение заданий в мини-группах: разбор проблем в предметной области, принятие решений в реальной ситуации
	4	Подготовка к контрольным мероприятиям: контрольная работа №1
2	12	Работа с учебной литературой: материалами семинарских занятий, учебниками и учебными пособиями
	4	Изучение материалов к практической подготовке: изучение теоретического материала и схемы эксперимента, подготовка конспекта, подготовка ответов на контрольные вопросы
	2	Аудиторное выполнение заданий в мини-группах: разбор проблем в предметной области, принятие решений в реальной ситуации
	2	Подготовка к контрольным мероприятиям: контрольная работа №2
3	16	Работа с учебной литературой: материалами семинарских занятий, учебниками и учебными пособиями
	4	Изучение материалов к практической подготовке: изучение теоретического материала и схемы эксперимента, подготовка конспекта, подготовка ответов на контрольные вопросы
	4	Выполнение практико-ориентированного задания
	4	Аудиторное выполнение заданий в мини-группах: разбор проблем в предметной области, принятие решений в реальной ситуации
	4	Подготовка к контрольным мероприятиям: контрольная работа №3, рубежный контроль

#### 4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Не предусмотрены

### 5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины (ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru>).

#### Модуль 1 Ионно-плазменная обработка.

Методическое пособие для практических занятий, для занятий по практической подготовке, подготовки к контрольным мероприятиям и зачету.

## **Модуль 2 Ионно-пучковая обработка.**

Методическое пособие для практических занятий, для занятий по практической подготовки, подготовки к контрольным мероприятиям и зачету.

## **Модуль 3 Обработка фокусированным ионным пучком.**

Методическое пособие для практических занятий, для занятий по практической подготовки, подготовки к контрольным мероприятиям и зачету.

## **6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

### **Литература**

1. Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий. Методы и применение / Под ред. У. Жу, Ж.Л. Уанга; Пер. с англ. С.И. Иванова, К.И. Домкина, под ред. Т.П. Каминской. - 3-е изд., электронное. - М. : Бинوم. Лаборатория знаний, 2017. - 601 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/94144> (дата обращения: 16.10.2020). - ISBN 978-5-00101-478-2.
2. Голишников А.А. Учебное пособие по дисциплине "Плазменные технологии в нанoeлектронике"/ А.А. Голишников, М.Г. Путря; М-во образования и науки РФ, МГИ-ЭТ(ТУ). - М. : МИЭТ, 2011. - 172 с. - (Учебно-методический комплекс для магистров. Направление "Нанoeлектроника"). - Комплект УМК, МИЭТ. - Электронная коллекция учебно-методического обеспечения МИЭТ. - ISBN 978-5-7256-0656-0

### **Периодические издания**

1. ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ. ЭЛЕКТРОНИКА : Научно-технический журнал / М-во образования и науки РФ; МИЭТ; Гл. ред. Ю.А. Чаплыгин. - М. : МИЭТ, 1996 - .
2. ПОВЕРХНОСТЬ. РЕНТГЕНОВСКИЕ, СИНХРОТРОННЫЕ И НЕЙТРОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. - М. : ИКЦ Академкнига, 1982 - . - URL: <http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=9739> (дата обращения: 16.10.2020)

## **7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ**

1. eLIBRARY.RU : Научная электронная библиотека: сайт. - Москва, 2000 -. - URL: <https://www.elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 05.11.2020). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей
2. ProQuest : [сайт]. – URL: <https://www.proquest.com/> (дата обращения: 27.10.2020). – Режим доступа: из локальной сети МИЭТ
3. APS Physical Society: [сайт]. –На англ. языке. - США, 2020. - URL: <https://www.aps.org/> (дата обращения: 27.10.2020)
4. Springer Nature Limited: сайт. - 2020 -. - URL: <http://www.nature.com> (дата обращения: 05.10.2020)
5. NSM Archive. Characteristics and Properties = Новые полупроводниковые материалы: Характеристики и свойства: Электронный архив / webmaster Алексей Толмачев // ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН : [сайт]. – Москва, 1998-2001. - URL: <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/rintroduction.html> (дата обращения: 27.10.2020).
6. ФИПС : Информационно-поисковая система: сайт. - Москва, 2009 - . - URL: <https://www1.fips.ru/elektronnye-servisy/informatsionno-poiskovaya-sistema/index.php> (дата обращения: 27.10.2020)

7. WebCSD // The Cambridge Crystallographic Data Centre (CCDC) : [сайт]. - URL: <https://www.ccdc.cam.ac.uk/structures/> (дата обращения: 27.10.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ

## 8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе реализации обучения используется **смешанное обучение**, основанное на интеграции технологий традиционного и электронного обучения, замещении части традиционных учебных форм занятий формами и видами взаимодействия в электронной образовательной среде.

Освоение образовательной программы обеспечивается ресурсами электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС.

Для взаимодействия студентов с преподавателем используются сервисы обратной связи с использованием электронной почты.

В процессе обучения при проведении занятий и для самостоятельной работы используются **внутренние электронные ресурсы** в формах видеоресурсов, размещенных в ОРИОКС.

При проведении занятий и для самостоятельной работы используются **внешние электронные ресурсы** в формах электронных компонентов сервисов youtube.com.

### Модуль 1

«Электронно-лучевая технология»

URL: <https://www.youtube.com/watch?v=RyICknNL0nQ> (дата обращения 16.10 2020)

### Модуль 2

«Электронно-лучевые технологии»

URL: [https://www.youtube.com/watch?v=LZrzs\\_NN230](https://www.youtube.com/watch?v=LZrzs_NN230)

### Модуль 3

«Focused Ion beam machining»

URL: <https://www.youtube.com/watch?v=pWYHVsu7Fhk> (дата обращения 26.10 2020)

## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Учебная аудитория Ауд. 3325	Персональный компьютер в комплекте Проектор Epson EMP-755 Принтер лазерный HP	Академические лицензии на ПО по проекту Azure Dev Tools for Teaching (Microsoft) Office
Лаборатория ЦКП «Диагностика и модификация микроструктур и нанообъектов»	Программно-аппаратный комплекс для лаборатории анализа СБИС: растровый	Azure, MATLAB, Octave

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
ауд 7109	электронный микроскоп с вольфрамовым излучателем Система модификации и диагностики сфокусированным ионным и электронным пучком Helios NanoLab	
Помещение для самостоятельной работы	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	Академические лицензии на ПО по проекту Azure Dev Tools for Teaching (Microsoft), Open Office, браузер Mozilla Firefox или Google Chrome

## **10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ**

ФОС по подкомпетенции ПК-4 ИОМПС «Способен выполнять обработку и локальную модификацию материалов, микро- и наноструктур плазмохимическими и ионно-лучевыми методами».

Фонд оценочных средств представлен отдельным документом и размещен в составе УМК дисциплины электронной информационной образовательной среды ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

## **11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **11.1. Особенности организации процесса обучения**

Дисциплина «Ионная обработка и модификация полупроводниковых структур» изучается в течение одного семестра. Она включает:

- практические занятия (семинары) – 1 раз в 2 недели;
- практическая подготовка – 4-х часовые занятия 1 раз в 4 недели.

Посещение практических занятий является обязательным.

Содержание дисциплины состоит из двух модулей, которые изучаются последовательно:

- ионно-плазменная обработка;
- ионно-пучковая обработка;
- обработка фокусированным ионным пучком.

Каждый модуль является логически завершенной частью курса. Успешность освоения каждого модуля оценивается по результатам выполнения обязательных контрольных мероприятий.



Для организации учебной работы студентов в начале каждого семестра предоставляются следующие учебно-методические материалы:

- план практических занятий на семестр с указанием тем занятий;
- график и виды контрольных мероприятий;
- список рекомендуемой учебно-методической литературы;
- рекомендуемые электронные ресурсы;
- практико-ориентированное задание на опыт деятельности, представление и защита результатов которого происходит на одном из практических занятий.

Выполнение индивидуального практико-ориентированного задания на СРС предполагает формирование у обучающихся подкомпетенций по индикаторам приобретения опыта деятельности. Оно включает в себя изучение плазмохимических и ионно-лучевых методов обработки и локальной для модификации материалов, микро- и наноструктур.

### 11.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительная балльная система.

Баллами оцениваются: выполнение каждой контрольной работы в семестре (в сумме 48 баллов), посещаемость занятий (в сумме 8 баллов), активность в семестре (в сумме 4 баллов). Выполнения комплексного задания программы промежуточной аттестации оценивается от 0 до 40 баллов.

Структура и график контрольных мероприятий приведены в журнале успеваемости на ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>).

По сумме баллов выставляется итоговая оценка (зачет) по предмету.

При выставлении итоговой оценки используется шкала, приведенная в таблице:

Сумма баллов	Оценка
Менее 50	незачет
Более 50	зачет

### РАЗРАБОТЧИК:

Заведующий кафедрой ОФ, д.ф.-м.н., проф. И.И. Боргардт /И.И. Боргардт/

Доцент кафедры ОФ, к.ф.-м.н. Р.Л. Волков /Р.Л. Волков/

Рабочая программа дисциплины «Ионная обработка и модификация полупроводниковых структур» по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника», направленности (профилю) «Нанодиагностика материалов и структур» разработана на кафедре ОФ и утверждена на заседании кафедры 22.12 2020 года, протокол № 5

Заведующий кафедрой ОФ



/ Н.И. Боргардт /

### ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа согласована с Центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК



/ И.М. Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

Директор библиотеки



/ Т.П. Филиппова /