

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Беспалов Владимир Александрович Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Должность: Ректор МИЭТ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

Дата подписания: 01.09.2023 15:56:20

«Национальный исследовательский университет

Уникальный программный ключ:

«Московский институт электронной техники»

ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736d76e8f96ca892800002

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

И.Г. Игнатова

«14» сентября 2023 г.

М.П.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Растровая электронно-ионная микроскопия наноструктур»

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: D7 «Руководство подразделениями по измерениям параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур»

Трудовые функции: D/01.7 «Организация и контроль процессов измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур»

D/03.7 «Руководство взаимодействием работников смежных подразделений и сторонних организаций»

| Подкомпетенция, формируемая в дисциплине | Задачи профессиональной деятельности | Индикаторы достижения подкомпетенций |
|---|---|---|
| ПК-4 РЭИМН «Способен осуществлять диагностику микро- и наноструктур методами растровой электронной микроскопии и фокусированного ионного пучка» | Разработка методики и проведение исследований и измерений параметров и характеристик изделий электронной техники, анализ их результатов | Знает возможности и области применения методов растровой электронной микроскопии и фокусированного ионного пучка для диагностики материалов и наноструктур Умеет применять методы растровой электронной микроскопии и фокусированного ионного пучка для диагностики материалов и наноструктур при решении конкретных задач Имеет опыт использования методов растровой электронной микроскопии и фокусированного ионного пучка для диагностики материалов и наноструктур при решении практических задач |

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 программой бакалавриата по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

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) | Практическая подготовка при проведении лабораторных работ (часы) | | |
| 2 | 3 | 4 | 144 | - | 24 | 24 | 60 | Экз (36) |

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| № и наименование модуля | Контактная работа | | | Самостоятельная работа | Формы текущего контроля |
|--|-------------------|-----------------------------|--|------------------------|---|
| | Лекции (часы) | Практические занятия (часы) | Практическая подготовка при проведении лабораторных работ (часы) | | |
| 1 Принципы растровой электронной микроскопии | - | 8 | 8 | 14 | Опрос |
| | | | | | Тестирование |
| | | | | | Выполнение и защита лабораторной работы |
| | | | | | Контрольная работа №1 |
| 2 Диагностика методами растровой электронной микроскопии | - | 8 | 4 | 20 | Опрос |
| | | | | | Тестирование |
| | | | | | Выполнение и защита лабораторной работы |
| | | | | | Контрольная работа №2 |

| № и наименования модуля | Контактная работа | | | Самостоятельная работа | Формы текущего контроля |
|--|-------------------|-----------------------------|--|------------------------|---|
| | Лекции (часы) | Практические занятия (часы) | Практическая подготовка при проведении лабораторных работ (часы) | | |
| 3 Методы растровой электронно-ионной микроскопии | - | 8 | 12 | 26 | Опрос |
| | | | | | Тестирование |
| | | | | | Выполнение и защита лабораторной работы |
| | | | | | Контрольная работа №3 |
| | | | | | Сдача практического задания |

4.1. Лекционные занятия

Не предусмотрены

4.2. Практические занятия

| № модуля дисциплины | № практического занятия | Объем занятий (часы) | Краткое содержание |
|---------------------|-------------------------|----------------------|---|
| 1 | 1 | 2 | Введение в современную растровую электронную микроскопию |
| | 2 | 2 | Взаимодействие электронного пучка с атомами образца в растровом электронном микроскопе |
| | 3 | 2 | Формирование изображений в растровом электронном микроскопе, типы контраста на электронно-микроскопических изображениях |
| | 4 | 2 | Калибровка растрового электронного микроскопа, измерение размеров полупроводниковых структур. Контрольная работа №1 |
| 2 | 5 | 2 | Подготовка образцов и методы исследования полупроводниковых материалов и структур в микроэлектронике |
| | 6 | 2 | Рентгеноспектральные измерения с дисперсией по длинам волн и энергии |
| | 7 | 2 | Количественный рентгеновский микроанализ материалов, получение и обработка экспериментальных спектров |
| | 8 | 2 | Получение двумерных карт распределения элементов методами рентгеноспектрального анализа Контрольная работа №2 |
| 3 | 9 | 2 | Устройство и принцип работы электронно-ионного микроскопа, |

| № модуля дисциплины | № практического занятия | Объем занятий (часы) | Краткое содержание |
|---------------------|-------------------------|----------------------|---|
| | | | ионная колонна |
| | 10 | 2 | Взаимодействие ионного пучка с образцом |
| | 11 | 2 | Модификация и препарирование полупроводниковых структур с применением фокусированного ионного пучка |
| | 12 | 2 | Формирование наноразмерных структур фокусированным ионным пучком Контрольная работа №3 |

4.3. Практическая подготовка при проведении лабораторных работ

| № модуля дисциплины | № лабораторной работы | Объем занятий (часы) | Краткое содержание |
|---------------------|-----------------------|----------------------|---|
| 1 | 1 | 4 | Исследование полупроводниковых структур в электронно-ионном микроскопе |
| | 2 | 4 | Калибровка растрового электронного микроскопа |
| 2 | 3 | 4 | Количественный рентгеновский энергодисперсионный микроанализ |
| 3 | 4 | 4 | Прецизионная модификация полупроводниковых структур ионным пучком в электронно-ионном микроскопе |
| | 5 | 4 | Трехмерная нанотомография с применением фокусированного ионного пучка и растровой электронной микроскопии |
| | 6 | 4 | Приготовление электронно-микроскопических образцов с применением фокусированного ионного пучка |

4.4. Самостоятельная работа студентов

| № модуля дисциплины | Объем занятий (часы) | Вид СРС |
|---------------------|----------------------|--|
| 1 | 4 | Работа с учебной литературой: материалами семинарских занятий, учебниками и учебными пособиями |
| | 4 | Подготовка к лабораторному занятию 1: изучение теоретического ма- |

| № модуля дисциплины | Объем занятий (часы) | Вид СРС |
|---------------------|----------------------|---|
| | | териала и схемы эксперимента, подготовка конспекта лабораторной работы, подготовка ответов на контрольные вопросы |
| | 6 | Подготовка к контрольной работе № 1 |
| 2 | 8 | Работа с учебной литературой: материалами семинарских занятий, учебниками и учебными пособиями |
| | 8 | Подготовка к лабораторным занятиям 2 и 3: изучение теоретического материала и схемы эксперимента, подготовка конспекта лабораторной работы, подготовка ответов на контрольные вопросы |
| | 4 | Подготовка к контрольной работе № 2 |
| 3 | 8 | Работа с учебной литературой: материалами семинарских занятий, учебниками и учебными пособиями |
| | 10 | Подготовка к лабораторным занятиям 4-6: изучение теоретического материала и схемы эксперимента, подготовка конспекта лабораторной работы, подготовка ответов на контрольные вопросы |
| | 3 | Подготовка к контрольной работе № 3 |
| | 5 | Подготовка и выполнение практико-ориентированного задания |

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>).

Список литературы по дисциплине;

Методические рекомендации студентам по дисциплине;

Семестровый план организации занятий по дисциплине;

Вопросы к экзамену;

График контрольных мероприятий по дисциплине.

Модуль 1 Принципы растрой электронной микроскопии

Методическое пособие для практических и лабораторных занятий, подготовки к контрольным мероприятиям и экзамену.

Модуль 2 Диагностика методами растровой электронной микроскопии

Методическое пособие для практических и лабораторных занятий, подготовки к контрольным мероприятиям и экзамену.

Модуль 3 Методы растровой электронно-ионной микроскопии

Методическое пособие для практических и лабораторных занятий, подготовки к контрольным мероприятиям и экзамену.

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. : Бином. Лаборатория знаний, 2017. - 601 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/94144> (дата обращения: 16.10.2020). - ISBN 978-5-00101-478-2.
2. Эгертон Р.Ф. Физические принципы электронной микроскопии [Текст] : Введение в просвечивающую, растровую и аналитическую микроскопию / Р.Ф. Эгертон; Пер. с англ. С.А. Иванова. - М. : Техносфера, 2010. - 304 с. - (Мир физики и техники). - Оригинал на англ. яз. в режиме доступа : <http://link.springer.com/book/10.1007/b136495> (дата обращения: 21.10.2020)

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: 05.10.2020). - 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: 27.09.2020)
4. Springer Nature Limited: сайт. - 2020 -. - URL: <http://www.nature.com> (дата обращения: 05.11.2020)
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/elektronnyye-servisy/informatsionno-poiskovaya-sistema/index.php> (дата обращения: 27.11.2020)
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

«Сканирующая электронная микроскопия»

<https://www.youtube.com/watch?v=TF0EW7YgvpE&t=1479s> (дата обращения 16.11 2020)

Модуль 2

«Focused Ion beam machining» <https://www.youtube.com/watch?v=pWYHVsu7Fhk> (дата обращения 16.11 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 «Диагно- | Программно-аппаратный | Azure, MATLAB, Octave |

| Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы | Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы | Перечень программного обеспечения |
|---|--|--|
| стика и модификация микроструктур и нанообъектов» Ауд. 7109 | комплекс для лаборатории анализа СБИС: растровый 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 РЭИМН «Способен осуществлять диагностику микро- и наноструктур методами растровой электронной микроскопии и фокусированного ионного пучка».

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 «Растровая электронно-ионная микроскопия наноструктур» изучается в течение одного семестра. Она включает:

- практические занятия (семинары) – 2 раз в 3 недели;
- практическая подготовка при выполнении лабораторных работ – 4-х часовые занятия 1 раз в 3 недели.

Посещение практических занятий и практической подготовки при выполнении лабораторных работ является обязательным.

Содержание дисциплины состоит из трех модулей, которые изучаются последовательно:

- Принципы растровой электронной микроскопии;
- Диагностика методами растровой электронной микроскопии;
- Методы растровой электронно-ионной микроскопии.

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 выполнения лабораторных работ;
- 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 использования методов растровой электронной микроскопии и фокусированного ионного пучка для диагностики материалов и наноструктур.

11.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительная балльная система.

Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия в семестре (в сумме до 30 баллов), выполнение каждой лабораторной работы (в сумме до 18 баллов), посещаемость занятий (в сумме до 8 баллов), активность в семестре (в сумме до 4 балла) и комплексного задания программы промежуточной аттестации в форме экзамена (до 40 баллов). По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету.

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

При выставлении итоговой оценки используется шкала, приведенная в таблице:

| Сумма баллов | Оценка |
|--------------|--------|
| Менее 50 | 2 |
| 50 – 69 | 3 |
| 70 – 85 | 4 |
| 86 – 100 | 5 |

РАЗРАБОТЧИК:

Доцент кафедры ОФ, к.ф.-м.н.

 /А.С. Приходько/

Доцент кафедры ОФ, к.ф.-м.н.

 /А.В. Румянцев/

Рабочая программа дисциплины «Растровая электронно-ионная микроскопия наноструктур» по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и микроэлектроника», 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 /