

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования "Пермский  
государственный национальный исследовательский  
университет"**

**Кафедра радиоэлектроники и защиты информации**

Авторы-составители: **Луногов Игорь Владимирович**

Рабочая программа дисциплины

**ЭЛЕКТРОННАЯ И ЗОНДОВАЯ СКАНИРУЮЩАЯ МИКРОСКОПИЯ**

Код УМК 91932

Утверждено  
Протокол №4  
от «24» июня 2020 г.

Пермь, 2020

## **1. Наименование дисциплины**

Электронная и зондовая сканирующая микроскопия

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина входит в вариативную часть Блока « М.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **03.04.03** Радиофизика

направленность Радиоэлектроника, телекоммуникации и интеллектуальные системы

### **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

В результате освоения дисциплины **Электронная и зондовая сканирующая микроскопия** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

**03.04.03** Радиопизика (направленность : Радиоэлектроника, телекоммуникации и интеллектуальные системы)

**ОПК.3** способность к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиопизики, необходимых для решения научно-исследовательских задач

**ПК.2** способность самостоятельно ставить научные задачи в области физики и радиопизики и решать их с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта

#### 4. Объем и содержание дисциплины

<b>Направления подготовки</b>	03.04.03 Радиофизика (направленность: Радиоэлектроника, телекоммуникации и интеллектуальные системы)
<b>форма обучения</b>	очная
<b>№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины</b>	4
<b>Объем дисциплины (з.е.)</b>	3
<b>Объем дисциплины (ак.час.)</b>	108
<b>Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:</b>	36
<b>Проведение лекционных занятий</b>	12
<b>Проведение лабораторных работ, занятий по иностранному языку</b>	24
<b>Самостоятельная работа (ак.час.)</b>	72
<b>Формы текущего контроля</b>	Входное тестирование (1) Защищаемое контрольное мероприятие (4) Итоговое контрольное мероприятие (1)
<b>Формы промежуточной аттестации</b>	Зачет (4 триместр)

## **5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины**

### **Электронная и зондовая сканирующая микроскопия**

В рамках курса студенты знакомятся с основными принципами работы сканирующих электронных и зондовых микроскопов. Осваивают современные методы исследования структуры и поверхностей и свойств твердых тел и тонких пленок

#### **Принципы работы сканирующих зондовых микроскопов**

Рассматриваются принципы работы сканирующих зондовых микроскопов, их структура, характеристики, возможности использования

#### **Сканирующие элементы(сканеры) зондовых микроскопов**

Рассматриваются типы сканеров и принципы их работы. Сканирование зондом, сканирование образцом

#### **Защита зондовых микроскопов от внешних воздействий**

Системы виброизоляции возможности и защита от вибраций

#### **Формирование и обработка СЗМ изображений**

Способ формирования изображений при сканировании зондовым микроскопом. Метод вычитания плоскости и полинома. Фильтрация изображения. Способы улучшения качества.

#### **Артефакты в сканирующей зондовой микроскопии**

Типы артефактов. Причины возникновения артефактов. Затяжки. Крип сканера. Способы избавления от артефактов

#### **Методы сканирующей зондовой микроскопии**

##### **Сканирующая туннельная микроскопия**

Основные принципы сканирующей зондовой микроскопии. Метод постоянного напряжения. Метод постоянного тока. Спектроскопия СТМ

##### **Атомно-силовая микроскопия**

Режимы сканирования: контактный, полуконтактный. Многопроходные методы

##### **Электросиловая микроскопия**

Электрическое взаимодействие между зондом и образцом. Определение локальных поверхностных электрических свойств, исследование электронных свойств нанокристаллов, изучение процессов переноса заряда, выявления дефектов интегральных микросхем

##### **Магнитно-силовая микроскопия**

Двухпроходные методы. Магнитное взаимодействие зонда с образцом. Влияние внешнего магнитного поля на изображение

## **6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

## **7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

## 8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

### Основная:

1. Брандон Д., Каплан У. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля: учеб. пособие для студентов вузов / Д. Брандон, У. Каплан ; пер. с англ. под ред. : С. Л. Баженова, с доп. О. В. Егоровой. - М.: Техносфера, 2006, ISBN 5-94836-018-0.-384.-Библиогр. в конце глав
2. Основы электротехники, микроэлектроники и управления в 2 т. Том 1 : учебное пособие для академического бакалавриата / Ю. А. Комиссаров, Л. С. Гордеев, Д. П. Вент, Г. И. Бабокин. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 455 с. — (Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-05431-6. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. <https://www.urait.ru/bcode/441207>
3. Миронов В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии: учеб. пособие для студентов вузов / В. Л. Миронов. - М.: Техносфера, 2005, ISBN 5-94836-034-2.-144.-Библиогр.: с. 140-143
4. Неволин, В. К. Зондовые нанотехнологии в электронике / В. К. Неволин. — Москва : Техносфера, 2014. — 174 с. — ISBN 978-5-94836-382-0. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/26894>

### Дополнительная:

1. Шеин А. Б. Физические методы исследований (металлография, электронная микроскопия, электронная спектроскопия): учебное пособие / А. Б. Шеин. - Пермь, 2008, ISBN 978-5-7944-1174-4.-108.- Библиогр. в конце глав
2. Филимонова, Н. И. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур. Сканирующая зондовая микроскопия. Часть I : учебное пособие / Н. И. Филимонова, Б. Б. Кольцов. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2013. — 134 с. — ISBN 978-5-7782-2158-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/45104.html>

## **9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины**

**nt-mdt.ru** Сайт компании НТ-МДТ

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Образовательный процесс по дисциплине **Электронная и зондовая сканирующая микроскопия** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- презентационные материалы (слайды по темам лекционных и практических занятий);
- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС);
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета (ЕТИС ПГНИУ);
- интернет-сервисы и электронные ресурсы (поисковые системы, электронная почта, профессиональные тематические чаты и форумы, системы аудио и видео конференций, онлайн энциклопедии и т.д.).

Перечень используемого программного обеспечения:

- открытая система "ALT Linux"
- офисный пакет приложений "Libreoffice";
- приложение позволяющее просматривать и воспроизводить медиа контент PDF-файлов "AdobeAcrobatReader DC";
- программы демонстрации видео материалов (проигрыватель) "WindowsMediaPlae";
- программа просмотра интернет контента (браузер) "GoogleChrome".

В рамках курса используется программное обеспечение электронного и зондового микроскопов для управления и обработки изображений

При освоении материала и выполнении заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (**student.psu.ru**).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

- система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).
- система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.
- система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

## **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Лекционные занятия, групповые (индивидуальные) консультации, мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации проводятся в аудитории, оснащенной презентационной техникой (проектор, экран для проектора, компьютер/ноутбук), а также меловой (и) или маркерной доской.

Лабораторные занятия проводятся в лаборатории "Зондовой сканирующей микроскопии" кафедры радиоэлектроники и защиты информации, с техническим оснащением, представленным в паспорте лаборатории.

Самостоятельная работа.

Аудитория для самостоятельной работы, в том числе помещения Научной библиотеки ПГНИУ, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», обеспеченные доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.



Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине  
Электронная и зондовая сканирующая микроскопия**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции и  
критерии их оценивания**

<b>Компетенция</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>	<b>Критерии оценивания результатов обучения</b>
<p><b>ОПК.3</b> способность к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимых для решения научно-исследовательских задач</p>	<p>знать принципы работы электронной и зондовой сканирующей микроскопии; уметь пользоваться электронным и атомно силовым микроскопом; владеть методами исследования с использованием атомно-силовой и сканирующей туннельной микроскопией</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>Отсутствуют знания основных принципов электронной и зондовой сканирующей микроскопии. Отсутствуют умения управления электронным и атомно силовым микроскопом. Отсутствуют навыки владения методами исследования с использованием атомно-силовой и сканирующей туннельной микроскопии</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Общие, но не структурированные знания основных принципов электронной и зондовой сканирующей микроскопии. Демонстрирует частично сформированное умение управления электронным и атомно силовым микроскопом. Фрагментарное применение навыков исследования с использованием атомно-силовой и сканирующей туннельной микроскопии</p> <p align="center"><b>Хорошо</b></p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных принципов электронной и зондовой сканирующей микроскопии. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения управления электронным и атомно силовым микроскопом. В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков исследования с использованием атомно-силовой и сканирующей туннельной микроскопии</p> <p align="center"><b>Отлично</b></p> <p>Сформированные систематические знания основных принципов электронной и зондовой сканирующей микроскопии. Сформированное умение управления электронным и атомно силовым</p>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>микроскопом. Успешное владение методами исследования с использованием атомно-силовой и сканирующей туннельной микроскопии</p>
<p><b>ПК.2</b> способность самостоятельно ставить научные задачи в области физики и радиофизики и решать их с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта</p>	<p>знать типы современного исследовательского оборудования, уметь ставить научные задачи с применением современного оборудования, владеть навыками использования современного оборудования</p>	<p style="text-align: center;"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>не знает типы современного исследовательского оборудования, не умеет ставить научные задачи с применением современного оборудования, не владеет навыками использования современного оборудования</p> <p style="text-align: center;"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Частично сформированные знания типов современного исследовательского оборудования, частично сформированное умение ставить научные задачи с применением современного оборудования, посредственное владение навыками использования современного оборудования</p> <p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>Сформированные, но содержащие пробелы знания типов современного исследовательского оборудования, сформированное, но содержащее пробелы умение ставить научные задачи с применением современного оборудования, неуверенное владение навыками использования современного оборудования</p> <p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>Сформированные знания типов современного исследовательского оборудования, сформированное умение ставить научные задачи с применением современного оборудования, уверенное владение навыками использования современного оборудования</p>

## Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

**Вид мероприятия промежуточной аттестации :** Зачет

**Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации :** Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

**Максимальное количество баллов :** 100

### Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 46 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 46 балла

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<b>Входной контроль</b>	Принципы работы сканирующих зондовых микроскопов <b>Входное тестирование</b>	проверка остаточных знаний по твердотельной электронике, квантовой и оптической электронике
<b>ОПК.3</b> способность к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимых для решения научно-исследовательских задач	Формирование и обработка СЗМ изображений <b>Защищаемое контрольное мероприятие</b>	Умение получить изображение, отфильтровать его, произвести необходимые измерения параметров поверхности
<b>ПК.2</b> способность самостоятельно ставить научные задачи в области физики и радиофизики и решать их с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта <b>ОПК.3</b> способность к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимых для решения научно-исследовательских задач	Сканирующая туннельная микроскопия <b>Защищаемое контрольное мероприятие</b>	Знание основ сканирующей туннельной микроскопии, умение пользоваться сканирующим туннельным микроскопом, владение методами сканирования в режимах постоянного напряжения и тока

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p><b>ПК.2</b> способность самостоятельно ставить научные задачи в области физики и радиофизики и решать их с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта</p> <p><b>ОПК.3</b> способность к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимых для решения научно-исследовательских задач</p>	<p>Атомно-силовая микроскопия</p> <p><b>Защищаемое контрольное мероприятие</b></p>	<p>Знание основ атомно-силовой микроскопии, режимов и методов сканирования, умение настроить зондовый микроскоп для сканирования в контактном и полуконтактном режимах, владение методиками сканирования АСМ</p>
<p><b>ОПК.3</b> способность к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимых для решения научно-исследовательских задач</p>	<p>Электросиловая микроскопия</p> <p><b>Защищаемое контрольное мероприятие</b></p>	<p>Знание принципов работы АСМ в режиме электросиловой микроскопии, умение настроить микроскоп для заданного режима работы, владение методами обработки полученных изображений</p>
<p><b>ПК.2</b> способность самостоятельно ставить научные задачи в области физики и радиофизики и решать их с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта</p> <p><b>ОПК.3</b> способность к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимых для решения научно-исследовательских задач</p>	<p>Магнитно-силовая микроскопия</p> <p><b>Итоговое контрольное мероприятие</b></p>	<p>Знание основ сканирующей зондовой микроскопии, умение настроить микроскоп для сканирования в режиме МСМ, владение методами обработки изображений полученных при фазовом контрасте двухпроходным методом</p>

### Спецификация мероприятий текущего контроля

#### Принципы работы сканирующих зондовых микроскопов

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **0**

Проходной балл: **0**

Показатели оценивания	Баллы
Допущено менее 10% ошибок при тестировании	81
Допущено менее 30% ошибок при тестировании	61
Допущено менее 50% ошибок при тестировании	41
Допущено более 50% ошибок при тестировании	0

### Формирование и обработка СЗМ изображений

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **20**

Проходной балл: **10**

Показатели оценивания	Баллы
Выполнена фильтрация изображения по заданному преподавателем способу	5
Сделан двумерный срез заданного участка и произведены вычисления характеристик изображения	5
Произведено вычитание поверхности и обработка изображения сплайном	5
Получено СЗМ изображение	5

### Сканирующая туннельная микроскопия

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **10**

Проходной балл: **5**

Показатели оценивания	Баллы
Настроить микроскоп в режим работы СТМ (каждая ошибка при настройке дает -1 балл)	5
Получить изображение поверхности в режиме постоянного тока или напряжения (каждая ошибка при сканировании дает -1 балл)	3
Снять вольт-амперные характеристики поверхности в заданных точках (любая ошибка снижает балл на 1)	2

### Атомно-силовая микроскопия

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **10**

Проходной балл: **5**

Показатели оценивания	Баллы
Настроить микроскоп в режим сканирования АСМ (каждая ошибка снижает балл на 1, грубая ошибка дает 0 баллов)	5
Получение изображения профиля поверхности в заданном режиме (каждая ошибка снижает балл на 1)	3
Обработка изображения (Каждое замечание и/или ошибка снижает балл на 1)	2

## **Электросиловая микроскопия**

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **20**

Проходной балл: **9**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Настроить микроскоп в контактный (полуконтактный) режим	5
Произвести сканирование в двухпроходном режиме	3
Произвести обработку изображения	2

## **Магнитно-силовая микроскопия**

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **17**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Настройка микроскопа для сканирования в режиме МСМ (каждая ошибка снижает балл на 1, грубая ошибка дает 0 баллов)	5
Получение МСМ изображения (каждая ошибка снижает балл на 1)	3
Обработка полученных изображений (каждая ошибка снижает балл на 1)	2