

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 Электроника, микро- и наноэлектроника

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 Радиофизика (направленность : Электроника, микро- и наноэлектроника)

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

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

4. Объем и содержание дисциплины

| | |
|---|--|
| Направления подготовки | 03.04.03 Радиофизика (направленность: Электроника, микро- и наноэлектроника) |
| форма обучения | очная |
| №№ триместров, выделенных для изучения дисциплины | 4 |
| Объем дисциплины (з.е.) | 3 |
| Объем дисциплины (ак.час.) | 108 |
| Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе: | 36 |
| Проведение лекционных занятий | 12 |
| Проведение лабораторных работ, занятий по иностранному языку | 24 |
| Самостоятельная работа (ак.час.) | 72 |
| Формы текущего контроля | Входное тестирование (1) Защищаемое контрольное мероприятие (4) Итоговое контрольное мероприятие (1) |
| Формы промежуточной аттестации | 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: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки "Прикладная математика и физика" : перевод с английского / Д. Брандон, У. Каплан ; пер.: С. Л. Баженов, О. В. Егорова. - Москва: 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: учебное пособие для студентов вузов / В. Л. Миронов. - Москва: 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) "WindowsMediaPlaer";
- 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**

| Компетенция | Планируемые результаты обучения | Критерии оценивания результатов обучения |
|--|---|---|
| <p>ОПК.3 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">Неудовлетворител</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">Удовлетворительн</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">Хорошо</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">Отлично</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;">Отлично</p> <p>микроскопом. Успешное владение методами исследования с использованием атомно-силовой и сканирующей туннельной микроскопии</p> |
| <p>ПК.2 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;">Неудовлетворител</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;">Удовлетворительн</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;">Хорошо</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;">Отлично</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 |
|---|---|---|
| Входной контроль | Принципы работы сканирующих зондовых микроскопов Входное тестирование | проверка остаточных знаний по твердотельной электронике, квантовой и оптической электронике |
| ОПК.3 способность к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимых для решения научно-исследовательских задач | Формирование и обработка СЗМ изображений Защищаемое контрольное мероприятие | Умение получить изображение, отфильтровать его, произвести необходимые измерения параметров поверхности |
| ПК.2 способность самостоятельно ставить научные задачи в области физики и радиофизики и решать их с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта ОПК.3 способность к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимых для решения научно-исследовательских задач | Сканирующая туннельная микроскопия Защищаемое контрольное мероприятие | 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>ПК.2 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>ОПК.3 способность к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимых для решения научно-исследовательских задач</p> | <p>Атомно-силовая микроскопия</p> <p>Защищаемое контрольное мероприятие</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>ОПК.3 способность к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимых для решения научно-исследовательских задач</p> | <p>Электросиловая микроскопия</p> <p>Защищаемое контрольное мероприятие</p> | <p>Знание принципов работы АСМ в режиме электросиловой микроскопии, умение настроить микроскоп для заданного режима работы, владение методами обработки полученных изображений</p> |
| <p>ПК.2 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>ОПК.3 способность к свободному владению знаниями фундаментальных разделов физики и радиофизики, необходимых для решения научно-исследовательских задач</p> | <p>Магнитно-силовая микроскопия</p> <p>Итоговое контрольное мероприятие</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**

| Показатели оценивания | Баллы |
|---|--------------|
| 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**

| Показатели оценивания | Баллы |
|---|--------------|
| 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 |