



ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Утверждена:
на заседании кафедры
протокол № 3 от «19» января 2021 г.
Зав. кафедрой  / Балапанов М.Х.

Согласовано:
Председатель УМК института
 / Балапанов М.Х.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Сканирующая зондовая микроскопия»
(наименование дисциплины)


Б1.В.1.ДВ.04.02 вариативная часть, дисциплина по выбору
(Цикл дисциплины и его часть (базовая, вариативная, дисциплина по выбору))

программа бакалавриата

Направление подготовки
03.03.02 Физика

Направленность подготовки
Медицинская физика

Квалификация
Бакалавр

| | |
|---|---|
| <p>Разработчики (составители)</p> <p><u>к.ф.-м.н., доцент кафедры общей физики</u> (должность, ученая степень, ученое звание)</p> | <p> / <u>Гирфанова Ф.М.</u></p> |
|---|---|

Для приема: 2021

Уфа 2021 г.

Составитель: доцент Гирфанова Ф.М.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры общей физики « 19 » января 2021 г. протокол № 3

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины, утверждены на заседании кафедры общей физики: утверждена обязательная и дополнительная литература, вопросы к экзамену, протокол № 6 от «24 июня 2021 г.

Заведующий кафедрой

—  — / Балапанов М.Х. Ф.И.О/

СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

| | | |
|------|---|----|
| 1. | Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций | 4 |
| 2. | Место дисциплины в структуре образовательной программы. | 6 |
| 3. | Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся) | 7 |
| 4. | Фонд оценочных средств по дисциплине | 7 |
| 4.1. | Перечень компетенций и индикаторов достижения компетенций с указанием соотнесенных с ними запланированных результатов обучения по дисциплине. Описание критериев и шкал оценивания результатов обучения по дисциплине. | 7 |
| 4.2. | Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценивания результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине. | 9 |
| 5. | Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины | 22 |
| 5.1. | Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины | 22 |
| 5.2. | Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины, включая профессиональные базы данных и информационные справочные систем. | 23 |
| 6. | Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине | 23 |

1.Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы (с ориентацией на карты компетенций).

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по данному направлению подготовки:

ПК-1 Способен планировать и проводить научные исследования по проблемам фундаментальной физики, медицинской физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований

| Категория (группа) компетенций ¹ (при наличии ОПК) | Формируемая компетенция (с указанием кода) | Код и наименование индикатора достижения компетенции | Результаты обучения по дисциплине |
|---|--|---|---|
| | ПК-4 Способен осуществлять технический контроль, настройку и эксплуатацию лечебного, диагностического и экспериментального оборудования, устройств медицинской электроники | ПК-4.1 Знать способы осуществления технического контроля, настройки и эксплуатации лечебного, диагностического и экспериментального оборудования, устройств медицинской электроники | 1)Знать теоретические основы и принципы работы настройки и эксплуатации лечебного, диагностического и экспериментального оборудования, устройств медицинской электроники 2)регламент и правила технического контроля |
| | | ПК-4.1 Уметь применять методы и способы осуществления технического контроля, настройки и | 1)применять методики настройки и эксплуатации всех видов медицинского оборудования |

| | | | |
|--|---|--|--|
| | | эксплуатации лечебного, диагностического и экспериментального оборудования, устройств медицинской электроники | |
| | | ПК-4.1 Владеть способами осуществления технического контроля, настройки и эксплуатации лечебного, диагностического и экспериментального оборудования, устройств медицинской электроники | владеть навыками работы и технического контроля всех видов медицинского оборудования |
| | ПК-1 Способен планировать и проводить научные исследования по проблемам фундаментальной физики, медицинской физики, материаловедения и научно-технических технологий с применением современных приборов и методов исследований | ПК-1.1 Знать методику планирования и проведения научных исследований по проблемам фундаментальной физики, медицинской физики наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований | 1)Знать теоретические основы и принципы работы сканирующей зондовой микроскопии 2)методику подготовки образцов для исследований 3)осуществлять правильный выбор режимов сканирования 4)методики обработки СЗМ-изображений |
| | | ПК-1.1 Уметь применять методику планирования и проведения научных исследований по проблемам фундаментальной физики, медицинской физики наукоемких технологий с применением современных приборов и методов | 1)применять теоретические основы и принципы работы сканирующей зондовой микроскопии 2)методику подготовки образцов для исследований 3)осуществлять правильный выбор режимов сканирования |

| | | | |
|--|--|--|---|
| | | исследований | 4)методики обработки СЗМ-изображений |
| | | ПК-4.1 Владеть методикой планирования и проведения научных исследований по проблемам фундаментальной физики, медицинской физики наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований | 1)владеть теоретическими основами и принципами работы сканирующей зондовой микроскопии 2)методиками подготовки образцов для исследований 3)осуществлять правильный выбор режимов сканирования 4)методики обработки СЗМ-изображений |

2.Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина /модуль/ «Сканирующая зондовая микроскопия» относится к разделу профессионального цикла (Б1.В.1.ДВ.04.02 вариативная часть /дисциплина по выбору/) Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 030302 «Физика» (квалификация /степень «Бакалавр»).

Для освоения дисциплины /модуля/ «Сканирующая зондовая микроскопия» необходимо знание студентами теоретического материала по данной дисциплине, знать виды и типы сканирующих зондовых микроскопов (СЗМ), принцип их работы, выбор режима сканирования, методику подготовки образцов для проведения исследования, выполнить лабораторные работы с использованием СЗМ, для закрепления теоретического материала и развития навыков работы на СЗМ. Студенты должны обладать знаниями в области физики конденсированных состояний, свойствами исследуемых материалов, физических параметров.

3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся) Приложение № 1

4. Фонд оценочных средств по дисциплине

4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

| Код и наименование индикатора достижения компетенции | Результаты обучения по дисциплине | Критерии оценивания результатов обучения | |
|---|---|---|--|
| | | «Не зачтено» | «Зачтено» |
| | | Студент набрал от 0 –до 59 баллов | Студент набрал от 60 – до 100 баллов |
| ПК-4.1 Знать способы осуществления технического контроля, настройки и эксплуатации лечебного, диагностического и экспериментального оборудования, устройств медицинской электроники | 1)Знать теоретические основы и принципы работы настройки и эксплуатации лечебного, диагностического и экспериментального оборудования, устройств медицинской электроники 2)регламент и правила технического контроля | Студент не знает или знает с грубыми ошибками: способы осуществления технического контроля, настройки и эксплуатации лечебного, диагностического и экспериментального оборудования, устройств медицинской электроники | Студент знает способы осуществления технического контроля, настройки и эксплуатации лечебного, диагностического и экспериментального оборудования, устройств медицинской электроники |
| ПК-4.1 Уметь применять методы и способы осуществления технического контроля, настройки и | 1)применять методики настройки и эксплуатации всех видов медицинского оборудования | Не показывает сформированные умения способы осуществления технического контроля, настройки и эксплуатации лечебного, диагностического и экспериментального | Умеет применять способы осуществления технического контроля, настройки и эксплуатации лечебного, диагностического и экспериментального оборудования, устройств |

| | | | |
|---|--|---|---|
| эксплуатации лечебного, диагностического и экспериментально го оборудования, устройств медицинской электроники | | оборудования, устройств медицинской электроники | медицинской электроники |
| ПК-4.1 Владеть способами осуществления технического контроля, настройки и эксплуатации лечебного, диагностического и экспериментальног о оборудования, устройств медицинской электроники | владеть навыками работы и технического контроля всех видов медицинского оборудования | Не способен использовать способы осуществления технического контроля, настройки и эксплуатации лечебного, диагностического и экспериментального оборудования, устройств медицинской электроники | Владеет навыками использования способы осуществления технического контроля, настройки и эксплуатации лечебного, диагностического и экспериментального оборудования, устройств медицинской электроники |
| ПК-1.1 Знать методику планирования и проведения научных исследований по проблемам фундаментальной физики, медицинской физики научно-технологий с применением современных приборов и методов исследований | 1)Знать теоретические основы и принципы работы сканирующей зондовой микроскопии 2)методику подготовки образцов для исследований 3)осуществлять правильный выбор режимов сканирования 4)методику обработки СЗМ- | Студент не знает или знает с грубыми ошибками: методику планирования и проведения научных исследований по проблемам фундаментальной физики, медицинской физики научно-технологий с применением современных приборов и методов исследований | Студент знает методику планирования и проведения научных исследований по проблемам фундаментальной физики, медицинской физики научно-технологий с применением современных приборов и методов исследований |

| | | | |
|---|--|---|---|
| | изображений | | |
| ПК-1.1 Уметь применять методику планирования и проведения научных исследований по проблемам фундаментальной физики, медицинской физики наукоемких технологий с применением современных приборов методов исследований | 1)применять теоретические основы и принципы работы сканирующей зондовой микроскопии 2)методику подготовки образцов для исследований 3)осуществлять правильный выбор режимов сканирования 4)методики обработки СЗМ-изображений | Не показывает сформированные умения при применении методик планирования и проведения научных исследований по проблемам фундаментальной физики, медицинской физики наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований | Умеет применять методику планирования и проведения научных исследований по проблемам фундаментальной физики, медицинской физики наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований |
| ПК-1.1 Владеть методикой планирования и проведения научных исследований по проблемам фундаментальной физики, медицинской физики наукоемких технологий с применением современных приборов | 1)владеть теоретическим и основами и принципами работы сканирующей зондовой микроскопии 2)методиками подготовки образцов для исследований 3)осуществлять правильный | Не способен использовать методику планирования и проведения научных исследований по проблемам фундаментальной физики, медицинской физики наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований | Владеет навыками использования методик планирования и проведения научных исследований по проблемам фундаментальной физики, медицинской физики наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований |

| | | | |
|----------------------|--|--|--|
| методов исследований | выбор режимов сканирования 4)методики обработки СЗМ-изображений | | |
|----------------------|--|--|--|

4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

| Код и наименование индикатора достижения компетенции | Результаты обучения по дисциплине (модулю) | Контролируемые действия по проверке знаний, умений и владений (Оценочные средства) |
|--|---|---|
| ПК-4.1 Знать способы осуществления технического контроля, настройки и эксплуатации лечебного, диагностического и экспериментального оборудования, устройств медицинской электроники | 1)Знать теоретические основы и принципы работы настройки и эксплуатации лечебного, диагностического и экспериментального оборудования, устройств медицинской электроники 2)регламент и правила технического контроля | Письменные работы № 1 |
| ПК-4.1 Уметь применять методы и способы осуществления технического контроля, настройки и эксплуатации лечебного, диагностического и экспериментального оборудования, устройств медицинской электроники | 1)применять методики настройки и эксплуатации всех видов медицинского оборудования | Письменная работа Выполнение и защита лабораторной работы |
| ПК-4.1 Владеть способами осуществления технического контроля, настройки и | владеть навыками работы и технического контроля всех видов медицинского оборудования | Письменная работа |

| | | |
|--|---|--|
| эксплуатации лечебного, диагностического и экспериментального оборудования, устройств медицинской электроники | | |
| ПК-1.1 Знать методику планирования и проведения научных исследований по проблемам фундаментальной физики, медицинской физики наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований | <ul style="list-style-type: none"> 1)Знать теоретические основы и принципы работы сканирующей зондовой микроскопии 2)методику подготовки образцов для исследований 3)осуществлять правильный выбор режимов сканирования 4)методики обработки СЗМ-изображений | |
| ПК-1.1 Уметь применять методику планирования и проведения научных исследований по проблемам фундаментальной физики, медицинской физики наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований | <ul style="list-style-type: none"> 1)применять теоретические основы и принципы работы сканирующей зондовой микроскопии 2)методику подготовки образцов для исследований 3)осуществлять правильный выбор режимов сканирования 4)методики обработки СЗМ-изображений | <p style="text-align: center;">Письменная работа Выполнение и защита лабораторной работы</p> |
| ПК-1.1 Владеть методикой планирования и проведения научных исследований по проблемам фундаментальной физики, медицинской физики наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований | <ul style="list-style-type: none"> 1)владеть теоретическими основами и принципами работы сканирующей зондовой микроскопии 2)методиками подготовки образцов для исследований 3)осуществлять правильный выбор режимов сканирования 4)методики обработки СЗМ-изображений | <p style="text-align: center;">Письменная работа</p> |

Приложение № 2

Рейтинг-планы /модуля/ дисциплины.

Модуль /дисциплина «Сканирующая зондовая микроскопия»

(название дисциплины согласно рабочему учебному плану)

направление «Физика», профиль «Медицинская физика»

курс 4, семестр 8

| Виды учебной деятельности студентов | Балл за конкретное задание | Число заданий за семестр | Баллы | |
|--|----------------------------|--------------------------|-------------|--------------|
| | | | Минимальный | Максимальный |
| Модуль 1 «Сканирующая зондовая микроскопия. Виды. Принцип работы» | | | | |
| Текущий контроль | | | | |
| Допуск и защита лабораторной работы №1 | 10 | 1 | 0 | 10 |
| Рубежный контроль | | | | |
| 1.Письменная контрольная работа №1 | 10 | 2 | 0 | 20 |
| ВСЕГО ПО МОДУЛЮ 1 | | | 0 | 30 |
| Модуль 2. Применение СЗМ для исследований. | | | | |
| Текущий контроль | | | | |
| Допуск и защита лабораторных работ № 2 и № 3 | 10 | 2 | 0 | 20 |
| Рубежный контроль | | | | |
| 1.Письменная контрольная работа №2 | 10 | 2 | 0 | 20 |
| ВСЕГО ПО МОДУЛЮ 2 | | | 0 | 40 |
| Поощрительные баллы | | | | |
| Участие в олимпиадах по общей физике | | | 0 | 10 |
| Итого поощрительных баллов | | | 0 | 10 |
| Посещаемость (баллы вычитаются из общей суммы набранных баллов) | | | | |
| 1. Посещение лекционных занятий | | | 0 | -6 |
| 2. Посещение практических занятий | | | 0 | -10 |
| Итоговый контроль | | | | |
| Зачет | 10 | 3 | 0 | 30 |

Вопросы к зачету

Зачет является оценочным средством для всех этапов освоения компетенций.

Примерные вопросы для зачета:

1. История создания сканирующих микроскопов.
2. Виды и типы сканирующих зондовых микроскопов.
3. Принцип работы СЗМ.
4. Что такое кантилевер ?
5. Выбор режима сканирования ?
6. Как работает микроскоп при контактном режиме сканирования ?
7. Как работает микроскоп при полуконтактном режиме сканирования ?
8. Как работает микроскоп при бесконтактном режиме сканирования ?
9. Выбор подложки для нанесения образца.
10. Методики подготовки образцов.
11. Результаты сканирования и их обработка ?
12. Программы обработки СЗМ изображений.
13. Что представляет собой 2 D СЗМ-изображение ?
14. Что представляет собой 3 D СЗМ-изображение ?
15. Сканирующий туннельный микроскоп, методики исследований, режимы сканирования, обработка полученных изображений
16. Атомно-силовой микроскоп, методики исследований, режимы сканирования, обработка полученных изображений

В рамках использования модульно-рейтинговой системы обучения и оценки успеваемости студентов итоговая оценка знаний студента по дисциплине производится по сумме баллов, полученных в рамках текущего и рубежного контроля знаний, умений и навыков в течение семестра, и баллов, полученных на экзамене.

За работу в семестре студент получает от 60-100 баллов за выполнение заданий в рамках текущего и рубежного контроля и дополнительно до 10 баллов за результаты участия в олимпиаде студентов по общей физике. Для получения зачета студент должен набрать в семестре не менее 60 баллов.

- зачтено – 60-110 баллов (включая 10 поощрительных баллов);
- не зачтено - 0-59 баллов;

Критерии оценивания ответа на зачете:

Критерии оценки (в баллах):

– **18-20 баллов** выставляется студенту, если студент дал полные, развернутые ответы на вопросы, продемонстрировал знание функциональных возможностей, терминологии, основных элементов, умение применять теоретические знания при выполнении практических заданий. Студент без затруднений ответил на все дополнительные вопросы;

– **13-17 баллов** выставляется студенту, если студент раскрыл в основном теоретические вопросы, однако допущены неточности в определении основных понятий. При ответе на дополнительные вопросы допущены небольшие неточности;

– **7-12 баллов** выставляется студенту, если при ответе на теоретические вопросы студентом допущено несколько существенных ошибок в толковании основных понятий. Логика и полнота ответа страдают заметными изъянами. Заметны пробелы в знании основных методов. Теоретические вопросы в целом изложены достаточно, но с пропусками материала. Имеются принципиальные ошибки в логике построения ответа на вопрос;

– **1-6 баллов** выставляется студенту, если ответ на теоретические вопросы свидетельствует о непонимании и крайне неполном знании основных понятий и методов. Студент не смог ответить ни на один дополнительный вопрос.

Описание письменной работы № 1.

1. Виды и типы сканирующих зондовых микроскопов
2. Принцип работы СЗМ
3. Режимы и выбор параметров сканирования
4. Методика подготовки образцов
5. Программы обработки СЗМ изображений.

Критерии оценивания письменной контрольной работы № 1.

Письменная контрольная работа содержит 2 вопроса (1 вопрос оценивается 0-10 баллов):

- 9-10 баллов выставляется студенту, если студент дал полный, развернутый ответ на вопрос, продемонстрировал знание формул, терминологии, понимание физической сути явлений и экспериментов, умение последовательно и логично отвечать на вопрос.

- 5-8 баллов выставляется студенту, если при ответе на вопрос допущена незначительная ошибка или при правильном ответе допущена не принципиальная ошибка;

- 1-5 баллов выставляется студенту, допущена принципиальная ошибка в ответе, но присутствуют правильные рассуждения и действия, направленные на получение ответа;

0 баллов ставится при отсутствии ответа или при полностью неверном ответе.

Описание письменной работы № 2

1. Применение сканирующих зондовых микроскопов для исследований.
2. Сканирующий туннельный микроскоп, принцип работы и его характеристики.
3. Сканирующий туннельный микроскоп методики исследований, режимы сканирования, обработка полученных изображений.
4. Атомно-силовой микроскоп, принцип работы и его возможности
5. Атомно-силовой микроскоп методики исследований, режимы сканирования, обработка полученных изображений
6. Анализ и интерпретация полученных результатов.
7. Программы обработки результатов (СЗМ-изображений).
8. Применение СЗМ в медицинской физике.
9. Что представляет собой 2 D СЗМ-изображение ?
10. Что представляет собой 3 D СЗМ-изображение ?

Критерии оценивания письменной контрольной работы № 2.

Письменная контрольная работа содержит 3 вопроса (1 вопрос оценивается 0-5 баллов):

- 5 баллов выставляется студенту, если студент дал полный, развернутый ответ на вопрос, продемонстрировал знание формул, терминологии, понимание физической сути явлений и экспериментов, умение последовательно и логично отвечать на вопрос.
- 4 баллов выставляется студенту, если при ответе на вопрос допущена незначительная ошибка или при правильном ответе допущена непринципиальная ошибка;
- 1-3 баллов выставляется студенту, допущена принципиальная ошибка в ответе, но присутствуют правильные рассуждения и действия, направленные на получение ответа;
- 0 баллов ставится при отсутствии ответа или при полностью неверном ответе.

Лабораторные работы

Структура лабораторных работ

Студент выполняет за отведенное время по учебному плану минимум 12 лабораторных работ. Учебно-методические пособия разрабатываются, не изданы. На выполнение одной лабораторной работы студент должен потратить не менее 4 часов и не более 6 часов аудиторной работы. Под выполнением лабораторной работы понимается: получение допуска к измерениям (наличие конспекта в тетради и знание устройства и принципа работы лабораторной установки); выполнение измерений; выполнение письменного отчета в тетради, защита лабораторной работы (ответы на вопросы в конце учебно-методического пособия).

Тематика лабораторных работ

Перечень лабораторных работ:

- 1.Лабораторная работа № 1 «Подготовка образцов к АСМ-сканированию»
- 2.Лабораторная работа № 2 «Исследование поверхностной структуры асфальтенов методом АСМ»
- 3.Лабораторная работа № 3 «Исследование поверхностной структуры магнитного CD-диска методом АСМ»

Образец отчета по лабораторной работе

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физико-технический институт
Кафедра теоретической физики

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 2
на тему: «Изучение СЗМ на примере исследования
структуры диска АСМ - методом»

Уфа, 2019 г.

Лабораторная работа №2 «Изучение СЗМ на примере исследования структуры диска АСМ - методом»

Цели работы: Изучение принципа работы Наноэдюкатора 2 и методов исследования образцов на примере оптического диска; выбор параметров и режима сканирования; получение качественных АСМ-изображений. Их обработка и анализ.

Приборы и принадлежности: образец (оптический диск), Наноэдюкатор 2.

Краткая теория

Сканирующий атомно-силовой микроскоп (АСМ) был создан в 1982 г. Гердом Биннигом, Кельвином Куэйтом и Кристофером Гербером. Изначально микроскоп представлял собой модификацию сканирующего туннельного микроскопа, который в отличие от туннельного позволял исследовать рельеф не только проводящих, но и непроводящих поверхностей. Принцип действия АСМ основан на использовании сил атомных связей, действующих между атомами вещества. Аналогичные силы действуют и между любыми сближающимися телами. В атомно-силовом микроскопе такими телами служат исследуемая поверхность и скользящее над ней остриё. Для определения топографии поверхности в первой версии АСМ использовалась упругая консоль (балка или кантилевер), отклонение которой при взаимодействии с поверхностью определялось по изменению туннельного тока, как в сканирующем туннельном микроскопе. Туннельный ток измерялся между балкой и зондом туннельного микроскопа, расположенным непосредственно над балкой. Лишь двумя годами позже была предложена использующаяся и по сей день оптическая схема регистрации отклонения кантилевера. Разрешение АСМ варьируется в диапазоне от десятков ангстрем до атомарного. В зависимости от характера взаимодействия между зондом и образцом, различают контактный, бесконтактный и полуконтактный способы проведения силовой микроскопии. Использование контактного способа предполагает, что зонд упирается в образец и находится в области действия сил отталкивания. В полуконтактном и бесконтактном режимах зонд колеблется на резонансной частоте. При работе бесконтактным способом используется эффект сдвига резонансной частоты кантилевера под действием сил притяжения. В полуконтактном режиме используется эффект уменьшения амплитуды колебаний зонда под действием сил отталкивания. Перечисленные способы измерений обладают определенными достоинствами и недостатками. Контактный способ измерений наиболее удобен с точки зрения детектирования силового взаимодействия, т.к. величины сил отталкивания в области контакта могут значительно превышать величины сил притяжения. Однако при его использовании существует опасность возникновения нарушений структуры поверхности образца и быстрого износа или даже поломки зонда. При бесконтактном способе измерений разрушение образца отсутствует, однако малы измеряемые сигналы. Поэтому наиболее часто для визуализации различных свойств поверхности в силовой микроскопии используется полуконтактный метод детектирования взаимодействия. При этом вследствие кратковременности контакта воздействие зонда на поверхность минимально, а измеряемые сигналы достаточны для их надежного детектирования. Дополнительным преимуществом полуконтактного метода является отсутствие сдвиговой составляющей силы воздействия на исследуемую поверхность, что существенно уменьшает искажения получаемых изображений.

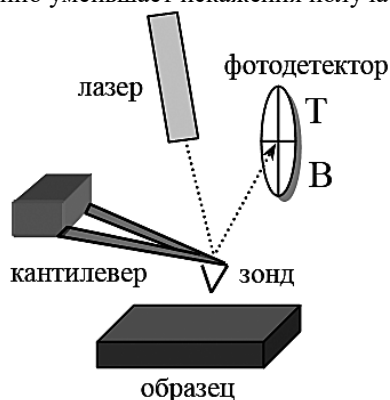


Рис.1 Схема силового датчика

Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) — это методика исследования проводящих образцов. Она позволяет полностью описывать топографию и электронную структуру поверхности. Метод для исследования поверхности был предложен и реализован инструментально Генрихом Рорером и Гердом Биннигом в 1981 г.

В СТМ острая металлическая игла подводится к образцу на расстояние нескольких [ангстрем](#). При подаче на иглу относительно образца небольшого [потенциала](#) возникает [туннельный ток](#). Величина этого тока [экспоненциально](#) зависит от расстояния образец-игла. СТМ первый из класса [сканирующих зондовых микроскопов](#). В процессе сканирования игла движется вдоль поверхности образца, туннельный ток поддерживается стабильным за счёт действия обратной связи, и показания следящей системы меняются в зависимости от топографии поверхности. Такие изменения фиксируются, и на их основе строится карта высот. Другая методика предполагает движение иглы на фиксированной высоте над поверхностью образца. В этом случае фиксируется изменение величины туннельного тока и на основе данной информации идёт построение [топографии поверхности](#).

Принцип работы зондового датчика СЗМ НАНОЭДЮКАТОР II

Измерительный вкладыш СЗМ НАНОЭДЮКАТОР II (Рис. 1) представляет собой основание 1 на котором закреплена плата 2, а также пьезотрубчатый держатель 3. Данный вкладыш позволяет проводить измерения как по методам АСМ, так и по методам СТМ. Пьезотрубчатый держатель выполнен в виде пьезокерамической трубки длиной $l=7$ мм, диаметром $d=1.2$ мм и толщиной стенки $h=0.25$ мм, жестко закрепленной с одного конца на основании 3 АСМ вкладыша. На внутреннюю поверхность трубки нанесен проводящий электрод. На внешнюю поверхность трубки нанесены два электрически изолированных полуцилиндрических электрода. Свободный конец трубки используется как держатель зонда, изготовленного методом электрохимического травления. Радиус закругления кончика зонда – 0.2 ± 0.05 мкм.

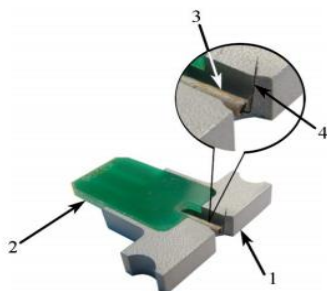


Рис. 1. Измерительный вкладыш с установленным зондом 1 – основание; 2 – плата; 3 – пьезотрубчатый держатель; 4 – зонд

Определение фильтров

Линейные фильтры основаны на использовании преобразования исходной функции, при котором производится свертка функции с ядром фильтра. Математически, свертка исходной двумерной функции $Z(i,j)$ с ядром фильтра $K(k,l)$, имеющим размер $N \times M$ элементов (где N и M – нечетные), описывается

$$Z'(i,j) = \frac{1}{S} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^M K(k,l) Z(i - (N+1)/2 + k, j - (M+1)/2 + l)$$

как:

где:

$$S = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M K(i,j)$$

S – сумма элементов ядра, определяемая как

$Z'(i,j)$ – результирующее изображение, полученное после применения фильтра.

К линейным фильтрам относятся следующие группы фильтров:

- Сглаживающие – сглаживают изображение. Обычно используются, для уменьшения высокочастотных шумов.
- Градиентные (дифференцирующие) – контрастируют границы и края. Используются для выделения границ объектов, для подчеркивания и усиления локальных неоднородностей.
- Фильтры резкости (контрастирующие) – повышают визуальную резкость и контрастность изображения.

Сглаживание

Сглаживание изображения в простейшем случае выполняется путем замены значения в каждой точке усредненным значением величин в некоторой окрестности этой точки.

Градиентные фильтры

Градиентные (дифференцирующие) фильтры делятся на вертикальные и горизонтальные. Вертикальные фильтры производят дифференцирование в горизонтальном направлении и усреднение в вертикальном направлении. Вертикальные фильтры используются для выделения границ объектов в вертикальном направлении. Горизонтальные фильтры производят дифференцирование в вертикальном направлении и усреднение в горизонтальном направлении. Горизонтальные фильтры используются для выделения границ объектов в горизонтальном направлении.

Фильтры резкости (Контрастирующие фильтры)

Контрастирующие фильтры, в отличие от сглаживающих, усиливают разницу между соседними точками изображения. Эти фильтры используются для повышения общей визуальной четкости изображения, для выделения границ областей и объектов, имеющих различную высоту, для контрастирования локальных неоднородностей.

Нелинейные фильтры

К нелинейным относятся медианные фильтры. Медианные фильтры являются сглаживающими фильтрами, которые хорошо убирают шумы импульсного характера, например, шумы в виде «отдельных точек», и в то же время, сохраняют резкость границ. Эти фильтры работают следующим образом. Окно фильтра, состоящее из $n \times n$ точек, перемещается по изображению от точки к точке. Для каждой точки исходной функции рассматривается локальная область, определяемая размерами окна фильтра.

Значения функции в точках этой локальной области (т.е. в точках окна фильтра) выстраиваются по возрастанию, и значение, стоящее в центре этого ряда, присваивается значению выходной функции в данной точке. Если окно фильтра имеет размеры 3×3 , то число значений в полученном ряду будет 9, и выбирается центральная точка из

этих девяти значений, соответственно, в случае фильтра размером 5×5 , ряд имеет 25 членов, и выбирается центральная точка из этих 25 значений, и т.д.

Таким образом, случайные «точечные» выбросы и провалы при такой сортировке окажутся на краях сортируемого массива, будут отфильтрованы и не войдут в результирующее изображение.

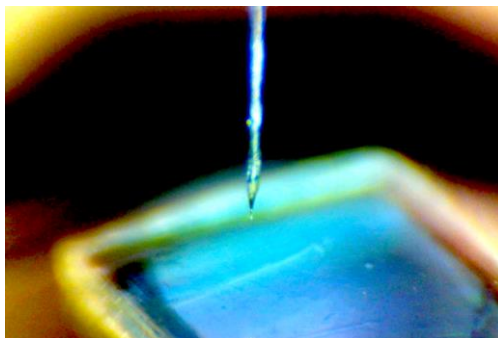


Рис.2 Снимок зонда с помощью камеры Наноэдыюкатора

Результаты исследования

Был представлен образец 10×10 мм. В виду того, что образец не проводит ток, был выбран полуконтактный АСМ режим (рис.3). Данный режим лучше всего подходит для работы с образцом оптического диска по причине меньшего воздействия на поверхность образца, а также в полуконтактном режиме сигналы достаточны для детектирования. Выполнена процедура построения резонансной кривой (рис.4). Были выбраны следующие параметры сканирования во избежание дефектов сканирования (рис.5):

Размер области сканирования – 10×10 мкм

Рабочая точка – 8.00 нА

Усиление – 1

Скорость – 1 Гц

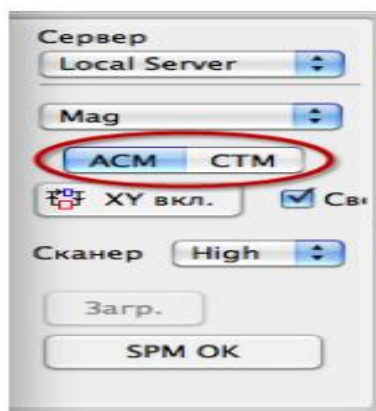


Рис.3 Переключение прибора для работы полуконтактным методом АСМ

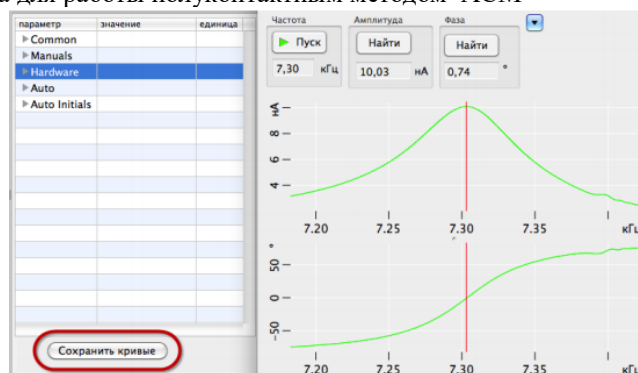


Рис.4 Частотные зависимости сигналов Mag и Phase

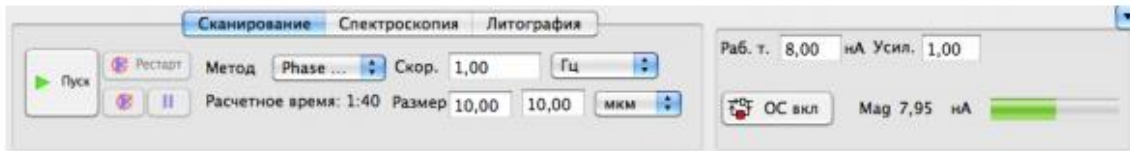


Рис.5 Выбранные параметры сканирования

Ниже представлены АСМ-изображения рельефа поверхности (исходное и с применением различных фильтров).

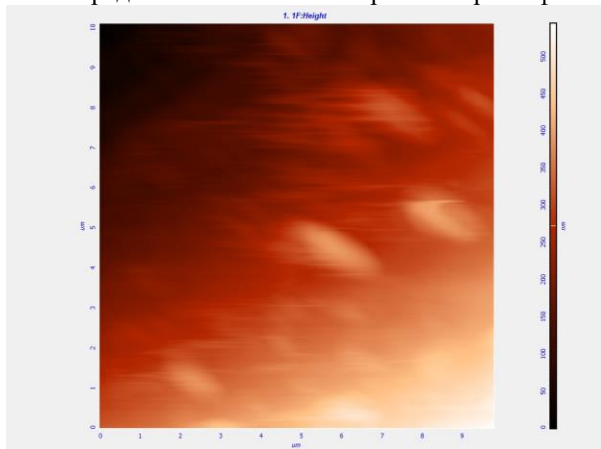


Рис.6 Оптический диск (исходный рисунок) изображение 2D

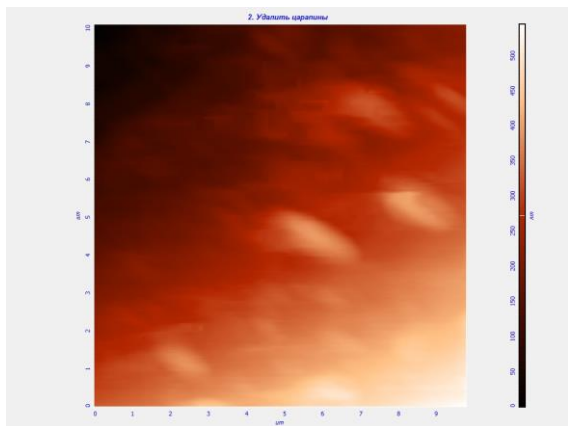


Рис.7 Оптический диск изображение после использования фильтра удаление царапин

Как мы видим из рис.7 фильтр удаление царапин очень эффективен в устранении дефектов поверхности на полученном АСМ-изображении.

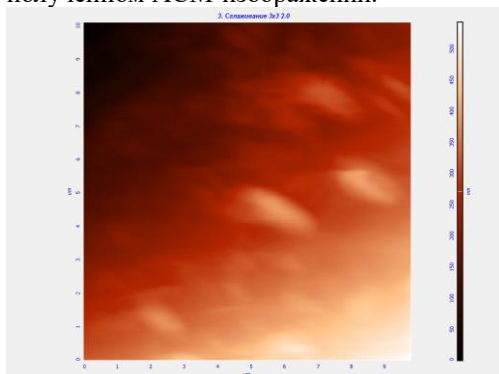


Рис.8 Оптический диск изображение после использования фильтра сглаживание 3x3

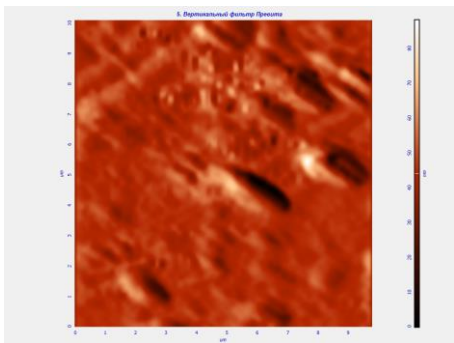


Рис.9 Оптический диск изображение после использования вертикального фильтра Превита

Здесь стоит отметить, что вертикальный фильтр Превита производит дифференцирование в горизонтальном направлении (по оси X) и усреднение в вертикальном (по оси Y). Также он выделяет границы объектов, расположенные в вертикальном направлении. На рис.8 мы видим объекты похожие на доменные структуры, возможно именно эти структуры показывают места, где происходила запись файла.

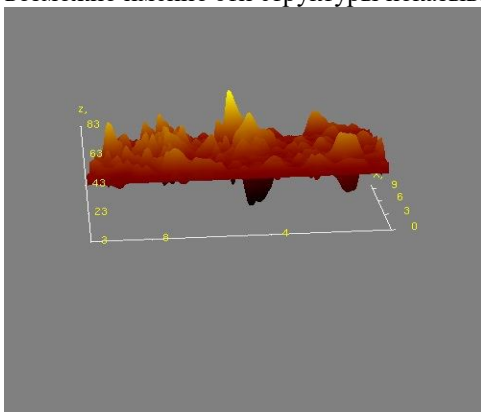


Рис.10 Оптический диск 3D-изображение после использования фильтра сглаживание 3x3, однородный 5x5, вертикального фильтра Превита.

На 3D-изображении (рис.10) мы, что данные структуры выделены соответствующими пиками. Средняя толщина 18-20 нм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были изучены методы сканирующей зондовой микроскопией на примере полуконтактного режима атомно-силовой микроскопии Наноэдыюкатора 2. Был исследован образец оптического диска размером 10×10 мм. Построена резонансная кривая, выбраны параметры сканирования и область сканирования 10×10 мкм. Мы получили АСМ-изображения рельефа поверхности исследуемого материала и обработали их, применяя различные фильтры. Мы наглядно увидели, как можно убрать из АСМ-дефекты связанные с царапинами на образце. Мы также получили 3D изображение исследуемого участка с использованием фильтров.

Критерии оценки (в баллах) лабораторной работы № 1:

Критерии оценки (в баллах):

- 15 баллов выставляется студенту, если отчет выполнен по всем требованиям, аккуратно и без ошибок ;
- 10-14 баллов выставляется студенту, если отчет выполнен по всем требованиям, аккуратно и с незначительными ошибками
- 3-9 баллов выставляется студенту, если отчет выполнен по всем требованиям, аккуратно, но допущены ошибки при анализе и интерпретации результатов
- 1-3 баллов выставляется студенту, если отчет выполнен по требованиям, но неаккуратно и допущены ошибки;
- 0 баллов выставляется студенту, если отчет не выполнен.

Критерии оценки (в баллах) лабораторной работы № 2(№3):

Критерии оценки (в баллах):

- 10 баллов выставляется студенту, если отчет выполнен по всем требованиям, аккуратно и без ошибок ;
- 5-9 баллов выставляется студенту, если отчет выполнен по всем требованиям, аккуратно и с незначительными ошибками
- 3-5 баллов выставляется студенту, если отчет выполнен по всем требованиям, аккуратно, но допущены ошибки при анализе и интерпретации результатов
- 1-3 баллов выставляется студенту, если отчет выполнен по требованиям, но неаккуратно и допущены ошибки;
- 0 баллов выставляется студенту, если отчет не выполнен.

4.3 Рейтинг-план дисциплины

Рейтинг–план дисциплины представлен в приложении 2.

5. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.

Основная литература.

- 1.Бахтизин Р.З., Галлямов Р.Р. Физические основы сканирующей зондовой микроскопии. Учебное пособие, Уфа РИО, 2003, 82 с – [100 экз]
- 2.Вознесенский, Э.Ф. Методы структурных исследований материалов. Методы микроскопии : учебное пособие / Э.Ф. Вознесенский, Ф.С. Шарифуллин, И.Ш. Абдуллин ; Министерство образования и науки России, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет». - Казань : Издательство КНИТУ, 2014. - 184 с. : табл., ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7882- 1545-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=428294> (26.03.2019)

Дополнительная литература:

1. Оура К., Лифшиц В.Г., Саранин А.А., Зотов А.В., Катаяма М. Введение в физику поверхности. М.: Наука, 2006, с.453. – Научная электронная библиотека ELIBRARY ID:19450689, https://elibrary.ru/projects/subscription/rus_titles_open.asp
- 2.Руководство пользователя Solver P47. ЗАО НТ-МДТ, г.Зеленоград, 2014, — Доступ к тексту электронного издания возможен через сайт <https://www.ntmdt-si.ru/>
- 3.Филимонова, Н.И. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур: сканирующая зондовая микроскопия : учебное пособие / Н.И. Филимонова, Б.Б. Кольцов. - Новосибирск : НГТУ, 2013. - Ч. I. - 134 с. - ISBN 978-5-7782-2158-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=228943> (26.03.2019).

5. Сканирующая зондовая микроскопия [Электронный ресурс]: лабораторная работа № 2. Принципы работы атомно-силового микроскопа и сканирующего туннельного микроскопа (для студентов направления «Радиофизика» физико-технического института) / Башкирский государственный университет ; сост. Т. И. Шарипов. — Уфа: РИЦ БашГУ, 2016. — Электрон. версия печ. публикации. — Доступ возможен через Электронную библиотеку БашГУ. — <URL:https://elib.bashedu.ru/dl/read/Sharipov_sost_Skan_zond_mikroskopija_lab_2_2016.pdf>.

5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины.

1. Электронная библиотечная система «ЭБ БашГУ» - <https://elib.bashedu.ru/>
2. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» - <https://biblioclub.ru/>
3. Электронная библиотечная система издательства «Лань» - <https://e.lanbook.com/>
4. Научная электронная библиотека - elibrary.ru (доступ к электронным научным журналам) - https://elibrary.ru/projects/subscription/rus_titles_open.asp
3. Электронная библиотека диссертаций РГБ <http://diss.rsl.ru/>

6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине приведена в таблице:

| Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий | Вид занятий | Наименование оборудования, программного обеспечения | Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа |
|---|---------------------|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, ауд.318: (физмат корпус – учебное) 2. учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций, учебная аудитория для текущего контроля и промежуточной аттестации: (физмат корпус – учебное) | Лекции | Учебная мебель, учебно-наглядные пособия, доска, мультимедиа-проектор | 1. Windows 8 Russian. Windows Professional 8 Russian Upgrade. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. Договор № 104 от 17.06.2013 г. |
| учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, Научно-образовательный центр нанофизики и нанотехнологий л.312 (физмат корпус – учебное) | Лабораторные работы | 1. Монитор BengSE2241, 21.5” TFT, glossyblak, инв.№ 000000017807. 2. Измерительный модуль для нанолаборатории SFV01, инв.№ 000002101048146. 3. Картотека. ШК-4, 4 ящика, замок, инв. № 000001101062309. 4. Компьютер (ноутбук) ARBYTE 164C/P4- | 1. Windows 8 Russian. Windows Professional 8 Russian Upgrade. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. Договор № 104 от 17.06.2013 г. 2. Microsoft Office Standard 2013 Russian. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. |

| | | |
|--|---|------------------------------------|
| | <p>2.8/512/60/DVD-CDRW/GF4-64MB/WINXP, инв.№ 000001101043134.</p> <p>5. Компьютер в составе: монитор, клавиатура, мышь (логитек), инв. № 000002101048113.</p> <p>6. Копировальный аппарат (цифр) MITA KM 1500, инв. № 000001101043092.</p> <p>7. Мультимедиа проектор HitachiCPS 235, инв. № 000001101043518.</p> <p>8. НоутбукAser Aspire E1-571G-52454G50M nks 15.6" i5 wifi, sam. MS Win7, инв.№ 210134000000224.</p> <p>9. Осциллограф ОСУ-10, инв. № 000002101043309.</p> <p>10. Осциллограф С-1-220 (20МГц, 2 кан.), инв.№ 000002101043305.</p> <p>11. Пирометр (измеритель температуры) Centre-352, инв.№ 000001101044081.</p> <p>12. Принтер KJOCERAFC-920, инв.№ 000001101043454.</p> <p>13. Принтер HPLaserJet 1100, инв. № 000002101040809.</p> <p>14. Принтер HPLaserJet P1102, инв. № 210134000000227.</p> <p>15. Принтерцветной HP Color Laser Jet Pro CP1525nw, инв. № 210134000000226.</p> <p>16. СистемныйблоккомпьютераCel etron 2.4/ASUStec P4S800/CDRW Sony/512Mb/3.5"/80Gb/ATX, ИНВ. № 000001101043488.</p> <p>17. Сканер HP Scan Jet G3110 (CCD, A4, color, 4800dpi, USB2.0, 35мм слайдер-адаптер), тнв. № 000002101048117.</p> <p>18. Сканирующий мультимодовый зондовыймикроскоп SolverP47, инв. № 000002101040804.</p> <p>19. Телевизор LED 42" (106 см.)45, LM3400 (3D, FHD, 1980*1080, USB), инв.№ 210134000000222.</p> <p>20. Холодильник «Саратов-1614М», инв.№ 000002101040876.</p> <p>21. Цифровая камера SonyAlphaSLT-A37K 18-55mm, инв. № 210134000000221.</p> <p>22. Экран на штативе 150*150, инв. № 000001101043507.</p> <p>23. Источник питания ВИП-009, инв.№ 000001101040694.</p> <p>24. Мультиметр MY64, инв.№ 000000000001082.</p> | <p>Договор № 114 от 12.11.2014</p> |
|--|---|------------------------------------|

| | | | |
|--|------------------------|--|---|
| | | <p>25. подставка под системный блок, инв. № 000002101068434.</p> <p>26. Портрет, инв. № 000000000001364.</p> <p>27. Прибор Щ-4300, инв.№ 000001101041617.</p> <p>28. Стенд универсальный «ОАВТ», инв. № 000001101041672.</p> <p>29. Стенд универсальный «ОАВТ», инв. № 000001101041667.</p> <p>30. Стол универсальный СУ 126, инв. № 000001101062314.</p> <p>31. Ноутбук pG62-b11ER/DVD-RW/WiFi/BT/Cam/Win7НВ/15.6”/2.56 кг., инв.№ 000002101048116</p> <p>32. Зондовая нанолаборатория ИНТЕГРА- АУРА.</p> <p>33. Огнетушитель порошковый закачной ОП-8 (з), (10л., 8 кг.), инв. № ИСПР00013412.</p> | |
| учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, л.118 (физмат корпус – учебное) | Лабораторные работы | Учебная мебель, комплекс лаборатории изучение наноиндуктора (класс по изучению нанoeлектроники) | <p>1. Windows 8 Russian. Windows Professiona l 8 Russian Upgrade. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. Договор № 104 от 17.06.2013 г.2.</p> <p>Microsoft Office Standard 2013 Russian. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. Договор № 114 от 12.11.2014</p> |
| Читальный зал №1 (главный корпус) | Самостоятельная работа | <p>Научный и учебный фонд, научная периодика, ПК (моноблок) - 3 шт, Wi-Fi доступ для мобильных устройств, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 76.</p> | <p>1. Windows 8 Russian. Windows Professiona l 8 Russian Upgrade. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. Договор № 104 от 17.06.2013 г.2.</p> <p>Microsoft Office Standard 2013 Russian. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. Договор № 114 от 12.11.2014</p> |
| Читальный зал №2 (физмат корпус- учебное) | Самостоятельная работа | <p>Научный и учебный фонд, научная периодика, Wi-Fi доступ для мобильных устройств, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 50.</p> | <p>1. Windows 8 Russian. Windows Professiona l 8 Russian Upgrade. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. Договор № 104 от 17.06.2013 г.2.</p> <p>Microsoft Office Standard 2013 Russian. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. Договор № 114 от 12.11.2014</p> |

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
 ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
 ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

дисциплины «Сканирующая зондовая микроскопия» на 8 семестр
 (наименование дисциплины)

дневная
 форма обучения

8-й семестр

| Вид работы | Объем дисциплины |
|---|------------------|
| Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов) | 72/2 |
| Учебных часов на контактную работу с преподавателем: | 30,2 |
| лекции | 10 |
| лабораторных | 20 |
| других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем) (ФКР) | 0.2 |
| Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР) | 41,8 |
| Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/дифференцированному зачету (Контроль) | |

Форма контроля:

Зачет ___ 8 ___ семестр

Таблица 3

3 семестр

| № п/п | Тема и содержание | Форма изучения материалов (лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа) | | | Основная и дополните льная литература, рекомендуе мая студентам | Задания по самостоятельной работе студентов с указанием литературы, номеров задач | Форма контроля самостоятельной работы студентов (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.) |
|---|---|--|----|----|---|--|---|
| | | ЛК | ЛБ | СР | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Модуль 1 «Сканирующая зондовая микроскопия. Виды. Принцип работы» | | | | | | | |
| 1. | История создания сканирующих микроскопов. | 1 | | 4 | [1] [2] | [3] | Письменная контрольная работа № 1 |
| 2. | Виды и типы сканирующих зондовых микроскопов. Принцип работы СЗМ | 1 | - | 2 | [2] | [1-4] | Письменная контрольная работа № 1 |
| 3 | Что такое кантилевер ? Выбор режима сканирования ? | 1 | | 4 | [1-3] | [1-4] | Допуск к лабораторной работе, подготовка образца Выполнение лабораторной работы № 1 и защита |
| 4 | Как работает микроскоп при контактном режиме сканирования ? | | | 4 | [1-3] | [1-4] | Письменная контрольная работа № 1 |
| 5 | Как работает микроскоп | 1 | | 2 | [1,3] | [3] | Письменная контрольная |

| | | | | | | | |
|--|--|---|--------|-----|--------|--------|---|
| | при полуконтактном режиме сканирования ? | | | | | | работа № 1 |
| 6 | Как работает микроскоп при бесконтактном режиме сканирования ? | 1 | | 4 | [1-3] | [1-4] | Письменная контрольная работа № 1 |
| Модуль 2. Применение СЗМ для исследований. | | | | | | | |
| 7 | Выбор подложки для нанесения образца. Методики подготовки образцов. | 1 | | 2 | [1,3] | [3,4] | Письменная контрольная работа № 2 |
| 8 | Результаты сканирования и их обработка ? | | 4 | 4 | [1-3] | [1-4] | Выполнение лабораторной работы № 1 и защита |
| 9 | Программы обработки СЗМ изображений. | 1 | | 2,8 | [1-3] | [1-4] | Допуск к лабораторной работе, подготовка образца |
| 10 | Что представляет собой 2 D и 3 D СЗМ-изображение ? | 1 | | 4 | [1-3] | [1-4] | Выполнение лабораторной работы № 2 и защита |
| 11 | Сканирующий туннельный микроскоп, методики исследований, режимы сканирования, обработка полученных изображений | 1 | 2 4 | 4 | [1-3] | [1-4] | Допуск к лабораторной работе, подготовка образца Выполнение лабораторной работы № 3 и защита |
| 12 | Атомно-силовой микроскоп, методики | 1 | 4 | 4 | [1-3] | [1-4] | Выполнение |

| | | | | | | | |
|--|---|----|----|------|--|--|----------------------------------|
| | исследований, режимы сканирования, обработка полученных изображений | | 4 | | | | лабораторной работы № 3 и защита |
| | | 10 | 20 | 41,8 | | | |

