

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
КАФЕДРА ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Утверждено:  
на заседании кафедры  
протокол № 7 от « 25 » апреля 2019 г.

Согласовано:  
Председатель УМК физико-  
технического института

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ / Салихов Р.Б.

\_\_\_\_\_ / Балапанов М.Х.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

дисциплина **СКАНИРУЮЩАЯ ЗОНДОВАЯ МИКРОСКОПИЯ**

*(наименование дисциплины)*

Часть, формируемая участниками образовательных отношений

*(указать часть (обязательная часть или часть, формируемая участниками образовательных отношений))*

**программа бакалавриата**

Направление подготовки (специальность)

11.03.04 электроника и нанoeлектроника.

*(указывается код и наименование направления подготовки (специальности))*

Направленность (профиль) подготовки

Электронные приборы и устройства

*(указывается наименование направленности (профиля) подготовки)*

Квалификация

Бакалавр

*(указывается квалификация)*

Разработчик (составитель)  
профессор, д.ф.-м.н., профессор  
*(должность, ученая степень, ученое звание)*


\_\_\_\_\_ / Салихов Р.Б.  
*(подпись/ Ф.И.О.)*

Для приема: 2019г.  
Уфа 2019г.

Составитель: Салихов Р.Б., д.ф.-м.н., профессор кафедры инфокоммуникационных технологий и нанoeлектроники

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры инфокоммуникационных технологий и нанoeлектроники протокол от «\_25\_» апреля 2019г. № 7

Заведующий кафедрой



\_\_\_\_\_ / Салихов Р.Б./

## Список документов и материалов

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы
2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы
3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)
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
  - 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
  - 4.3. *Рейтинг-план дисциплины (при необходимости)*
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
  - 5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины
  - 5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

### Список документов и материалов (оглавление)

|  |        |
|--|--------|
| 7. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы  | 4      |
| 8. Место дисциплины в структуре образовательной программы  | 5      |
| 9. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся) -<br>(Приложение №1)   | 5 (15) |
| 10. Фонд оценочных средств по дисциплине   | 6      |
| 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  | 6      |
| 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 | 8      |
| 4.3. Рейтинг-план дисциплины (Приложение №2)   | 9(19)  |
| 11. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины  | 12     |
| 5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины  | 12     |
| 5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины  | 14     |
| 12. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине  | 14     |

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

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

| Категория (группа) компетенций | Формируемая компетенция (с указанием кода)  | Код и наименование индикатора достижения компетенции   |
|--------------------------------|---|--|
|                                | ПК-2. Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения | <p>ПК-2.1.<br/>Знать технику сканирующей зондовой микроскопии, сканирующие элементы зондовых микроскопов; недостатки сканеров (нелинейность, крип, гистерезис); устройства для прецизионных перемещений зонда и образца; ВАХ контакта металл-металл, ВАХ контакта металл-полупроводник; систему управления сканирующего туннельного микроскопа.</p> <p>ПК-2.2.<br/>Уметь: применять полученные знания в области устройств для прецизионных перемещений зонда и образца; защиты зондовых микроскопов от внешних воздействий; стабилизации термодрейфа положения зонда над поверхностью; формирования и обработки СЗМ изображений. Устранение искажений, связанных с неидеальностью сканера</p> <p>ПК-2.3.<br/>Владеть: методами управления сканирующего туннельного микроскопа; фильтрация СЗМ изображений; восстановления поверхности по ее СЗМ изображению; измерения локальной работы выхода в СТМ; измерения вольт-амперных характеристик туннельного контакта.</p> |

## 2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Сканирующая зондовая микроскопия» относится к *вариативной* части.

Дисциплина изучается на 4 курсе в 8 семестре.

Дисциплина «Сканирующая зондовая микроскопия» заканчивает цикл специальных дисциплин «Вакуумная и плазменная электроника», «Физика конденсированного состояния» в которых рассматриваются, в основном, классические представления электроники и физики твердого тела, и начинается ознакомление с результатами физических экспериментов и теоретическими представлениями в области квантовой теории о свойствах микрообъектов и материи в целом.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, предварительно сформированные в рамках изучения следующих дисциплин: молекулярная физика, электричество и магнетизм, оптика, физический практикум, математический анализ.

Чтобы приступить к изучению дисциплины «Сканирующая зондовая микроскопия» студент должен знать основные понятия и законы перечисленных выше дисциплин, уметь находить производные функций и их пределы, иметь навыки нахождения неопределенных и определенных интегралов функций. Студент должен иметь представления об основных средствах измерений в лабораторном физическом практикуме, уметь пользоваться измерительными приборами в рамках лабораторного физического практикума, иметь навыки расчетов погрешностей прямых и косвенных измерений.

## 3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)

Содержание рабочей программы представлено в Приложении № 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 формулировка компетенции:

ПК-2. Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения

| Планируемые результаты обучения (Индикаторы достижения заданного уровня освоения компетенций)  | Критерии оценивания результатов обучения  |   |  |  |
|--|---|---|--|--|
|  | 2 («Не удовлетворительно»)  | 3 («Удовлетворительно»)   | 4 («Хорошо»)   | 5 («Отлично»)  |
| Индикатор достижения компетенции (с кодом) ПК-2.1.<br>Знать технику сканирующей зондовой микроскопии, сканирующие элементы зондовых микроскопов; недостатки сканеров (нелинейность, крип, гистерезис); устройства для прецизионных перемещений зонда и образца; ВАХ контакта металл-металл, ВАХ контакта металл-полупроводник; систему управления сканирующего туннельного микроскопа. | Не знает технику сканирующей зондовой микроскопии, сканирующие элементы зондовых микроскопов; недостатки сканеров (нелинейность, крип, гистерезис); устройства для прецизионных перемещений зонда и образца; ВАХ контакта металл-металл, ВАХ контакта металл-полупроводник; систему управления сканирующего туннельного микроскопа.                                     | Имеет фрагментарные знания о технике сканирующей зондовой микроскопии, сканирующих элементах зондовых микроскопов; недостатки сканеров (нелинейность, крип, гистерезис); устройствах для прецизионных перемещений зонда и образца; ВАХ контакта металл-металл, ВАХ контакта металл-полупроводник; системе управления сканирующего туннельного микроскопа.                     | Достаточно уверенно знает технику сканирующей зондовой микроскопии, сканирующие элементы зондовых микроскопов; недостатки сканеров (нелинейность, крип, гистерезис); устройства для прецизионных перемещений зонда и образца; ВАХ контакта металл-металл, ВАХ контакта металл-полупроводник; систему управления сканирующего туннельного микроскопа. | Уверенно знает технику сканирующей зондовой микроскопии, сканирующие элементы зондовых микроскопов; недостатки сканеров (нелинейность, крип, гистерезис); устройства для прецизионных перемещений зонда и образца; ВАХ контакта металл-металл, ВАХ контакта металл-полупроводник; систему управления сканирующего туннельного микроскопа.      |
| ПК-2.2.<br>Уметь: применять полученные знания в области устройств для прецизионных перемещений зонда и образца; защиты зондовых микроскопов от внешних воздействий; стабилизации термодрейфа положения зонда над поверхностью; формирования и обработки СЗМ изображений. Устранение искажений, связанных с неидеальностью сканера  | Не умеет применять полученные знания в области современных тенденций развития электроники, измерительной и вычислительной техники в своей профессиональной деятельности; строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения; использовать стандартные про- | Частично умеет применять полученные знания в области современных тенденций развития электроники, измерительной и вычислительной техники в своей профессиональной деятельности; строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения; использовать стандартные про- | Умеет применять полученные знания в области современных тенденций развития электроники, измерительной и вычислительной техники в своей профессиональной деятельности; строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения; исполь-       | Умеет применять полученные знания в области современных тенденций развития электроники, измерительной и вычислительной техники в своей профессиональной деятельности; строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения; исполь- |

|  |   |   |  |   |
|--|---|---|--|---|
|  | ные программные средства их компьютерного моделирования   | граммные средства их компьютерного моделирования  | зывать стандартные программные средства их компьютерного моделирования, но иногда ошибается  | зывать стандартные программные средства их компьютерного моделирования  |
| ПК-2.3.<br>Владеть: методами управления сканирующего туннельного микроскопа; фильтрация СЗМ изображений; восстановления поверхности по ее СЗМ изображению; измерения локальной работы выхода в СТМ; измерения вольт-амперных характеристик туннельного контакта. | Не владеет методами управления сканирующего туннельного микроскопа; фильтрация СЗМ изображений; восстановления поверхности по ее СЗМ изображению; измерения локальной работы выхода в СТМ; измерения вольт-амперных характеристик туннельного контакта. | Частично владеет методами управления сканирующего туннельного микроскопа; фильтрация СЗМ изображений; восстановления поверхности по ее СЗМ изображению; измерения локальной работы выхода в СТМ; измерения вольт-амперных характеристик туннельного контакта. | Владеет методами управления сканирующего туннельного микроскопа; фильтрация СЗМ изображений; восстановления поверхности по ее СЗМ изображению; измерения локальной работы выхода в СТМ; измерения вольт-амперных характеристик туннельного контакта. | Уверенно владеет методами управления сканирующего туннельного микроскопа; фильтрация СЗМ изображений; восстановления поверхности по ее СЗМ изображению; измерения локальной работы выхода в СТМ; измерения вольт-амперных характеристик туннельного контакта. |

Критериями оценивания являются баллы, которые выставляются преподавателем за виды деятельности (оценочные средства) по итогам изучения модулей (разделов дисциплины), перечисленных в рейтинг-плане дисциплины (для экзамена: текущий контроль – максимум 40 баллов; рубежный контроль – максимум 30 баллов, поощрительные баллы – максимум 10).

Шкалы оценивания:

(для экзамена:

от 45 до 59 баллов – «удовлетворительно»;

от 60 до 79 баллов – «хорошо»;

от 80 баллов – «отлично».

#### 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

| Компетенция<br>(с указанием кода)   | Результаты обучения<br><i>Индикатор достижения компетенции (с кодом)</i>  | Оценочные средства                 |
|---|---|------------------------------------|
| ПК-2. Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения | ПК-2.1.<br>Знать технику сканирующей зондовой микроскопии, сканирующие элементы зондовых микроскопов; недостатки сканеров (нелинейность, крип, гистерезис); устройства для прецизионных перемещений зонда и образца; ВАХ контакта металл-металл, ВАХ контакта металл-полупроводник; систему управления сканирующего туннельного микроскопа. | контрольные работы; тесты; экзамен |
|   | ПК-2.2.<br>Уметь: применять полученные знания в области устройств для прецизионных перемещений зонда и образца; защиты зондовых микроскопов от внешних воздействий; стабилизации термодрейфа положения зонда над поверхностью; формирования и обработки СЗМ изображений; устранять искажения, связанные с неидеальностью сканера            |                                    |
|   | ПК-2.3.   |                                    |

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | Владеть: методами расчета наноэлектронных Владеть: методами управления сканирующего туннельного микроскопа; фильтрация СЗМ изображений; восстановления поверхности по ее СЗМ изображению; измерения локальной работы выхода в СТМ; измерения вольт-амперных характеристик туннельного контакта. |  |
|--|---|--|

### **4.3. Рейтинг-план дисциплины (при необходимости)**

#### Рейтинг-план дисциплины

#### Сканирующая зондовая микроскопия

(название дисциплины согласно рабочему учебному плану)

специальность \_\_\_\_\_ Электроника и наноэлектроника \_\_\_\_\_

курс \_\_\_\_\_ 3 \_\_\_\_\_, семестр \_\_\_\_\_ 5 \_\_\_\_\_

| Виды учебной деятельности студентов   | Балл за конкретное задание | Число заданий за семестр | Баллы       |              |
|---|----------------------------|--------------------------|-------------|--------------|
|   |                            |                          | Минимальный | Максимальный |
| <b>Модуль 1 «Техника сканирующей зондовой микроскопии.»</b>   |                            |                          |             |              |
| <b>Текущий контроль</b>   |                            |                          |             |              |
| Тест 1  | 4                          | 5                        | 0           | 20           |
| <b>Рубежный контроль</b>  |                            |                          |             |              |
| 1. Контрольная работа №1  | 5                          | 3                        | 0           | 15           |
| <b>ВСЕГО ПО МОДУЛЮ 1</b>  |                            |                          | <b>0</b>    | <b>35</b>    |
| <b>Модуль 2 «Сканирующая туннельная микроскопия. Атомно-силовая, электро- и магнитно-силовая микроскопия»</b> |                            |                          |             |              |
| <b>Текущий контроль</b>   |                            |                          |             |              |
| 3. Контрольная работа №2  | 5                          | 4                        | 0           | 20           |
| <b>Рубежный контроль</b>  |                            |                          |             |              |
| 1. Тест 2   | 3                          | 5                        | 0           | 15           |
| <b>ВСЕГО ПО МОДУЛЮ 2</b>  |                            |                          | <b>0</b>    | <b>35</b>    |
| <b>Поощрительные баллы</b>  |                            |                          |             |              |
| Участие в олимпиадах по общей физике (баллы за задачи по атомной физике)                                      |                            |                          | 0           | <b>10</b>    |
| <b>Итого поощрительных баллов</b>   |                            |                          | <b>0</b>    | <b>10</b>    |
| <b>Посещаемость (баллы вычитаются из общей суммы набранных баллов)</b>  |                            |                          |             |              |
| 1. Посещение лекционных занятий   |                            |                          | <b>0</b>    | <b>-6</b>    |
| 2. Посещение практических занятий   |                            |                          | <b>0</b>    | <b>-10</b>   |
| <b>Итоговый контроль</b>  |                            |                          |             |              |
| <b>Экзамен</b>  | 9 (вопрос билета)          | 2 вопроса                | Макс. 18 б. | <b>30</b>    |
|   | 3 (доп. вопрос)            | 2                        | Макс. 6 б.  |              |
|   | 6 (задача)                 | 1                        | Макс. 6 б.  |              |



## Вопросы по дисциплине

Зачет является оценочным средством для всех этапов освоения компетенций.

Примерные вопросы для зачета:

1. Техника сканирующей зондовой микроскопии.
2. Сканирующие элементы зондовых микроскопов.
3. Недостатки сканеров (нелинейность, крип, гистерезис).
4. Устройства для прецизионных перемещений зонда и образца.
5. Защита зондовых микроскопов от внешних воздействий.
6. Стабилизация термодрейфа положения зонда над поверхностью
7. Формирование и обработка СЗМ изображений.
8. Устранение искажений, связанных с неидеальностью сканера
9. Фильтрация СЗМ изображений
10. Методы восстановления поверхности по ее СЗМ изображению
11. Сканирующая туннельная микроскопия.
12. Зонды для туннельных микроскопов
13. Измерение локальной работы выхода в СТМ
14. Измерение вольт-амперных характеристик туннельного контакта.
15. ВАХ контакта металл-металл, ВАХ контакта металл-полупроводник
16. Туннельная спектроскопия
17. Система управления СТМ
18. Конструкции сканирующих туннельных микроскопов
19. Атомно-силовая микроскопия.
20. Зондовые датчики атомно-силовых микроскопов
21. Контактная атомно-силовая микроскопия
22. Зависимость силы от расстояния между зондовым датчиком и образцом
23. Система управления АСМ при работе кантилевера в контактном режиме
24. Колебательные методики АСМ, вынужденные колебания кантилевера
25. "Полуконтактный" режим колебаний кантилевера АСМ
26. Электросиловая микроскопия.
27. Магнитно-силовая микроскопия.
28. Квазистатические методики МСМ, колебательные методики МСМ.
29. Система управления АСМ, ЭСМ, МСМ (колебательные методики).
30. Ближнепольная оптическая микроскопия (БОМ).
31. Зонды БОМ на основе оптического волокна. Конфигурации БОМ.

**Вопросы, вынесенные на самостоятельное изучение:**

1. Электрические свойства диэлектриков. Пьезоэлектричество.
2. Электромагнитная индукция. Электродвигатели.
3. Упругость твердых тел, упругая сила.
4. Способы цифровой фильтрации.
5. Фурье преобразование – прямое и обратное.
6. Электронная структура поверхности.
7. Туннелирование электронов через барьер.
8. Магнитные свойства материалов.

**Примерные темы рефератов:**

1. Сегнетоэлектрики.
2. Полевая электронная эмиссия.
3. Цифроаналоговые и аналогоцифровые преобразователи.
4. Работа выхода электронов.
5. Свободные и вынужденные колебания.
6. Ван-дер-Ваальсовы силы взаимодействия.
7. Ферромагнетики.

## 8. Разрешение в оптических микроскопах.

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.

### **Критерии оценивания знаний:**

Показатели сформированности компетенции:

Критериями оценивания являются баллы, которые выставляются преподавателем за виды деятельности (оценочные средства) по итогам изучения модулей (разделов дисциплины), перечисленных в рейтинг-плане дисциплины (*для экзамена*: текущий контроль – максимум 40 баллов; рубежный контроль – максимум 30 баллов, поощрительные баллы – максимум 10; *для зачета*: текущий контроль – максимум 50 баллов; рубежный контроль – максимум 50 баллов, поощрительные баллы – максимум 10).

Шкалы оценивания:

(*для экзамена*:

от 45 до 59 баллов – «удовлетворительно»;

от 60 до 79 баллов – «хорошо»;

от 80 баллов – «отлично».

*для зачета*:

зачтено – от 60 до 110 рейтинговых баллов (включая 10 поощрительных баллов),

не зачтено – от 0 до 59 рейтинговых баллов).

### **За ответы на вопросы билета выставляется**

- **15-18 баллов**, если студент дал полные, развернутые ответы на все теоретические вопросы билета, продемонстрировал знание формул, терминологии, понимание физической сути явлений и экспериментов, умение последовательно и логично отвечать на вопросы билета в объеме рекомендованной литературы.

Студент без затруднений ответил на уточняющие вопросы преподавателя по материалам билета.

- **10-14 баллов** выставляется студенту, если студент раскрыл без серьезных ошибок оба теоретических вопроса, однако показал пробелы в знаниях 20-25 % объема билета. Не на все уточняющие вопросы были даны корректные ответы.

- **5-9** баллов выставляется студенту, если даны ответы на оба теоретических вопроса в объеме 35-50 % от полного ответа. Студентом допущено несколько существенных ошибок в толковании основных понятий, законов и формул, описании основных экспериментов. Студент не дает удовлетворительных ответов на уточняющие вопросы по билету.

- **1-4 балла** выставляется студенту, если ответ на теоретические вопросы свидетельствует о непонимании и крайне неполном знании основных понятий, законов и экспериментов, или полностью отсутствует ответ на один вопрос и допущены серьезные ошибки и пробелы при ответе на второй вопрос. На уточняющие вопросы по билету не получены ответы или ответы на них в корне ошибочны.

### **За решение задачи на экзамене выставляется:**

- 6 баллов, если задача решена полностью и без замечаний;

- 5 баллов, если задача решена полностью, но есть небольшие недочеты или несущественная ошибка в численных расчетах или преобразованиях;

- 4 балла, если все исходные положения теории и логические выводы записаны верно, но преобразования не закончены или в преобразованиях допущена ошибка;

- 3 балла, если в исходных уравнениях или в идее решения допущена серьезная ошибка, что привело к неверному результату или отсутствует одно из необходимых исходных уравнений, однако выполнены преобразования, направленные на получение ответа;

- 2 балла, если отсутствует два исходных уравнения из трех или четырех необходимых, или допущена грубая ошибка, свидетельствующая о непонимании условия задачи, однако

присутствуют верные логические рассуждения, идея решения, частично правильные действия, направленные на получение ответа;

- 1 балл, если есть правильно записанное одно или два исходных положения теории или идея решения, но не сделано никаких действий для получения ответа;

- 0 баллов – решение отсутствует или полностью ошибочно.

**За ответ на дополнительный вопрос на экзамене выставляется:**

-3 балла, если студент дал исчерпывающе полный и правильный ответ;

- 2 балла, если ответ верен, но дан не в полном объеме учебной программы, или содержит незначительные ошибки;

- 1 балл, если ответ на вопрос дан, но содержит серьезные ошибки или большие пробелы в изложении;

- 0 баллов, если студент не ответил или ответил в корне неверно.

## 5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

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

#### Основная литература:

1. В.Л.Миронов. Основы зондирующей микроскопии. 2004 г.
2. С.А.Рыков - "Сканирующая зондовая микроскопия полупроводниковых материалов и наноструктур", СПб, Наука, 2001, 53 с.
3. В.А.Быков, М.И.Лазарев, С.А.Саунин - Сканирующая зондовая микроскопия для науки и промышленности. // "Электроника: наука, технология, бизнес", № 5, с. 7 – 14 (1997).

#### Дополнительная литература:

- 1.В.И.Панов – Сканирующая туннельная микроскопия и спектроскопия поверхности.// УФН, т.155, № 1, с.155 – 158 (1988).
2. В.С.Эдельман – Развитие сканирующей туннельной и силовой микроскопии. // Приборы и техника эксперимента, № 1, с. 24 – 42 (1991).
3. В.К.Неволин - "Основы туннельно-зондовой нанотехнологии: Учебное пособие", Москва, МГИЭТ (ТУ), 1996, 91 с.

### 5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.ntmdt.ru/>
2. <http://www.openrasmol.org/>, <http://www.rasmol.org/>

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

Для проведения лекционных занятий используется аудиторный фонд физико-технического института.

| Наименование дисциплины (модуля), практик в соответствии с учебным планом | Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы   | Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы  | Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа   |
|---|---|--|--|
| Сканирующая зондовая микроскопия  | <b>1. учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа:</b> аудитория 415 (физико-технического корпус учебное)<br><b>2. учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа:</b> лаборатория сканирующей зондовой микроскопии 118 (физико-технический корпус учебное).<br><b>3. учебная аудитория для консультирования и промежуточной аттестации:</b> аудитория 415 (физико-математический корпус учебное)<br><b>4. помещения для самостоятельной работы</b> Читальный зал №2 (корпус | <b>Аудитория 415</b><br>Доска, учебная мебель , проектор<br><b>Лаборатория 118</b><br><b>Читальный зал</b><br>Научный и учебный фонд, научная периодика, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 50, ПК (моноблок) – 8 шт., подключенных к сети Интернет, неограниченный доступ к электронным БД и ЭБС; количество посадочных мест – 8<br><b>Лаборатория 605 г</b> Станок токарный ТВ-16; Станок сверлильный НС-Ш; Осциллограф С1-67; Паяльная аппаратура; Весы аналитические Labof; Весы лабораторные; Шкаф с набором вспомогательного материала (резисторов, конденсаторов, предохранителей | 1. Windows 8 Russian; Windows Professional 8 Russian Upgrade. Договор №104 от 17.06.2013 г. Лицензия-OLP NL Academic Edition. Бессрочная.<br>2. Microsoft Office Standard 2013 Russian. Договор №114 от 12.11.2014 г.. Лицензия-OLP NL Academic Edition. Бессрочная. |

|  |   |  |  |
|--|---|--|--|
|  | физмата, 2 этаж): Зал доступа к электронной информации Библиотеки<br>5. Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования: лаборатория по техническому обеспечению учебного процесса, к.605 г | и т.д) Набор инструментов для ремонта оборудования |  |
|--|---|--|--|

### **Лабораторные занятия по дисциплине и порядок их проведения**

Основные темы дисциплины «Сканирующая зондовая микроскопия» («СЗМ») приведены в таблицах 3 и 4 рабочего плана, где можно ознакомиться с расшифровкой каждой темы и основными понятиями, которые необходимо освоить по каждому модулю. В этих же таблицах подробно прописана тематика самостоятельной работы с указанием литературных источников. По каждой теме самостоятельной работы в рабочей программе указаны соответствующие параграфы основной и дополнительной литературы, которая есть в достаточном количестве в библиотеке. Рекомендуется активно пользоваться электронными ресурсами библиотеки читального зала физико-технического института.

Самостоятельную работу нужно выполнять систематически для последовательного понимания материала и готовности к промежуточным и рубежным контролям. При возникновении вопросов необходимо обращаться к лектору в отведенное время за консультацией. Возможна консультация с использованием электронной почты или социальной сети.

Обязательное условие успешного освоения лекционного материала – внимательно слушать объяснения преподавателя, вести краткий конспект, задавать вопросы лектору, если возникает непонимание материала. Очень полезно обратиться к литературе, которую рекомендовал преподаватель по каждой лекции, и уяснить непонятные моменты. Если по какой-либо причине лекционное занятие было пропущено, материал необходимо проработать по рекомендуемой литературе, в противном случае следующая тема будет непонятна.

Лабораторные занятия требуют предварительной подготовки. Получив у преподавателя тему работы необходимо: проработать теоретический материал по данной работе (лекционный либо по учебной литературе); спланировать выполнение лабораторной работы: четко уяснить порядок выполнения работы, подготовить порядок сохранения и обработки полученных результатов. Перед выполнением работы необходимо сдать допуск преподавателю. После получения результатов расчетов и их предварительной обработки нужно проанализировать полученные результаты, сформулировать вывод и подготовить ответы на контрольные вопросы, которые приведены в конце работы. Ниже перечислена тематика лабораторных работ:

1. Получение первого СЗМ изображения.
2. Обработка и количественный анализ СЗМ изображений.
3. Исследование поверхности твердых тел полуконтактным методом атомно-силовой микроскопии.
4. Артефакты в сканирующей зондовой микроскопии.
5. Изготовление зондов для СЗМ методом электрохимического травления.
6. Исследование поверхности т.т. методами сканирующей туннельной микроскопии.
7. 2D и 3D представление СЗМ изображения.

По итогам каждой лабораторной работы оформляется отчет, который сдается преподавателю на следующем после выполнения данной работы занятии.

Отчет должен включать:

- краткое теоретическое введение, отражающее устройство, принцип действия и назначение исследуемого прибора;
- задание на выполнение работы;
- план проведения эксперимента;
- схему установки и ее краткое описание;
- результаты и их обсуждение, в том числе анализ погрешности эксперимента, методике обработки результатов,
- теоретические расчеты, анализ полученных данных и сравнение их с литературными;
- выводы;
- список использованной литературы.

По итогам каждой лабораторной работы преподаватель выставляет оценку, учитывая предварительную подготовку, объем и качество экспериментальной части работы, глубину обсуждения результатов и качество отчета.

"Удовлетворительно" выставляется при выполнении работы по стандартной схеме и удовлетворительном знании основных закономерностей изучаемого явления.

"Хорошо" выставляется при наличии творческого, тщательно продуманного плана работы, качественного выполнения экспериментальной части, детального анализа полученных результатов и хороших знаний изучаемого вопроса.

"Отлично" требует нестандартного подхода к выполнению работы, включения в нее элементов исследования, машинной обработки результатов.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
 ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
 «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

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

очная

форма обучения

| <b>Вид работы</b>   | <b>Объем дисциплины</b> |
|---|-------------------------|
| Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)   | 4/144                   |
| Учебных часов на контактную работу с преподавателем:  |                         |
| лекций  | 36                      |
| практических/ семинарских   | 36                      |
| лабораторных  |                         |
| других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем) (ФКР) | 2                       |
| Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР)  | 26                      |
| Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/дифференцированному зачету (Контроль)   | 44                      |

Форма контроля:

зачет 8 семестр

Таблица 3

| № п/п   | Тема и содержание  | Форма изучения материалов (лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа) | Кол-во часов аудиторной работы | Основная и дополнительная литература, рекомендуемая студентам | Задания по самостоятельной работе студентов с указанием литературы, номеров задач                | Количество часов самостоят. работы | Форма контроля самостоятельной работы студентов (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.) |
|---|--|--|--------------------------------|---|--|------------------------------------|--|
| 1   | 2  | 3  | 4                              | 5   | 6  | 7                                  | 8  |
| <b>Модуль 1: Техника сканирующей зондовой микроскопии</b> |  |  |                                |   |  |                                    |  |
| 1.  | <b>Введение.</b> Техника сканирующей зондовой микроскопии. Сканирующие элементы зондовых микроскопов. Недостатки сканеров (нелинейность, крип, гистерезис). Устройства для прецизионных перемещений зонда и образца. Защита зондовых микроскопов от внешних воздействий. Стабилизация термодрейфа положения зонда над поверхностью | <u>Лекция</u><br><br>Лабораторные занятия  | 2                              | [1];<br>[2], Введение   | Электрические свойства диэлектриков. Пьезоэлектричество. Сегнетоэлектрики. [1]                   | 6                                  | Письменный опрос   |
| 2.  | Формирование и обработка СЗМ изображений. Устранение искажений, связанных с неидеальностью сканера. Фильтрация СЗМ изображений. Методы восстановления поверхности по ее СЗМ изображению  | <u>Лекция</u><br><br>Лабораторные занятия  | 4<br>4                         | 2, § 1.1-1.4<br>3 (с.60-69)<br>4, гл.2                        | Электромагнитная индукция. Электродвигатели. Упругость твердых тел, упругая сила. [2] § 1.5, 1.6 | 8                                  | Выборочный опрос, контрольная работа   |



| <b>Модуль 2. Сканирующая туннельная микроскопия</b>                      |   |   |            |  |  |    |  |
|--|---|---|------------|--|--|----|--|
| 5  | Сканирующая туннельная микроскопия. Зонды для туннельных микроскопов. Измерение локальной работы выхода в СТМ. Измерение вольт-амперных характеристик туннельного контакта.                     | <b>Лекция</b><br><br>Лабораторные занятия | 2<br><br>6 | 2, § 4.1-4.7<br>3, гл. 3<br>4, гл.5<br>[2], Л. п. № 3            | Квантово-механическое представление о туннелировании электронов.<br>Полевая электронная эмиссия.             | 8  | Выборочный опрос, контрольная работа, Защита отчета    |
| 6  | ВАХ контакта металл-металл, ВАХ контакта металл-полупроводник. Туннельная спектроскопия Система управления сканирующего туннельного микроскопа. Конструкции сканирующих туннельных микроскопов. | <b>Лекция</b><br><br>Лабораторные занятия | 4<br><br>4 | 2, § 5.1-5.3<br>3, гл. 3<br>4, гл.5<br>[2], Л. п. № 5,8          | Работа выхода электронов. Электронная структура поверхности.<br>2, § 3.7, 3.8                                | 8  | Защита отчета  |
| <b>Модуль 3. Атомно-силовая, электро- и магнитно-силовая микроскопия</b> |   |   |            |  |  |    |  |
| 3.   | Атомно-силовая микроскопия. Зондовые датчики атомно-силовых микроскопов. Контактная атомно-силовая микроскопия. Зависимость силы от расстояния между зондовым датчиком и образцом.              | <b>Лекция</b><br><br>Лабораторные занятия | 4<br><br>4 | 2, § 2, 3.1-3.6,<br>3.9<br>3, гл. 3<br>4, гл.5<br>[2], Л. п. № 2 | Ван-дер-Ваальсовы силы взаимодействия.<br>Упругость твердых тел, упругая сила.                               | 8  | Контрольная работа, решение задач<br><br>Защита отчета |
| 4  | Система управления АСМ при работе кантилевера в контактном режиме. Колебательные методики АСМ, вынужденные колебания кантилевера. "Полуконтактный" режим колебаний кантилевера АСМ .            | <b>Лекция</b><br><br>Лабораторные занятия | 4<br><br>4 | [2], Л. п. № 1   | Свободные и вынужденные колебания.<br>Способы цифровой фильтрации. Фурье преобразование – прямое и обратное. | 10 | Защита отчета  |

|   |   |  |                               |   |   |           |  |
|---|---|--|-------------------------------|---|---|-----------|--|
|   |   |  |                               |   |   |           |  |
| 7 | <p>Электросиловая микроскопия (ЭСМ). Принцип работы ЭСМ. Двухпроходная методика. Магнитно-силовая микроскопия (МСМ). Квазистатические методики МСМ, колебательные методики МСМ.</p> <p>Система управления АСМ, ЭСМ, МСМ (колебательные методики).</p> | <p>Лекция</p> <p>Лабораторная работа</p> | <p>2</p> <p>4</p>             | <p>2, § 6.1-6.3</p> <p>[2], Л. р. № 4</p> | <p>Физика поверхности, диполи, зарядовое состояние поверхности.</p> <p>Ферромагнетики</p> | <p>8</p>  | <p>Выборочный опрос, контрольная работа, Защита отчета</p> |
| 8 | <p>Ближнепольная оптическая микроскопия (БОМ).</p> <p>Зонды БОМ на основе оптического волокна. Конфигурации БОМ.</p>  | <p>Лекция</p> <p>Лабораторная работа</p> | <p>2</p> <p>4</p>             | <p>2, § 8.1-8.4</p> <p>[2], Л. р. № 7</p> | <p>Разрешение в оптических микроскопах. Дифракция света. Когерентность.</p>               | <p>8</p>  | <p>Выборочный опрос, контрольная работа, Защита отчета</p> |
| 9 |   |  |                               |   |   |           |  |
|   |   | <p>ИТОГО</p>                             | <p>24</p> <p>30</p> <p>54</p> |   |   | <p>86</p> | <p>зачет</p>   |

