

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

Утверждено:  
на заседании кафедры  
протокол от «7» сентября 2020 г. № 1

Согласовано:  
Председатель УМК факультета /института

Зав. кафедрой



/Р.З. Бахтизин



/М.Х. Балапанов

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Дисциплина Сканирующая зондовая микроскопия

*(наименование дисциплины)*

Дисциплина по выбору

Б1.В.1ДВ.06.02.

**программа магистратуры**

Направление подготовки (специальность)

03.03.03 Радиоп физика, квалификация (степень) магистр

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

Профиль) подготовки


Цифровые технологии обработки информации

*(указывается наименование направленности (профиля) подготовки)*

Квалификация

Магистр радиоп физики

*(указывается квалификация)<sup>1</sup>*

|   |  |
|---|--|
| <p>Разработчик (составитель)<br/><u>Доктор физ.-мат. наук, профессор</u><br/>(должность, ученая степень, ученое звание)</p> | <br><u>/ / Бахтизин Р.З</u><br>(подпись, Фамилия И.О.) |
|---|--|

Уфа 2020г.

<sup>1</sup>Бакалавр, специалист, **магистр**.

## Содержание

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Цели и задачи дисциплины.....  | с. |
| 2     | Место дисциплины в учебном процессе.....   |    |
| 3     | Организационно-методические данные дисциплины.....   |    |
| 4     | Содержание дисциплины.....   |    |
| 4.1   | Разделы дисциплины и виды занятий студентов.....   |    |
| 4.2   | Содержание разделов дисциплины.....  |    |
| 5     | Тематический план изучения дисциплины (по семестрам).....  |    |
| 5.1   | Лабораторные работы.....   |    |
| 5.2   | Самостоятельное изучение разделов дисциплины.....  |    |
| 6     | Учебно-методическое обеспечение дисциплины.....  |    |
| 6.1   | Рекомендуемая литература.....  |    |
| 6.1.1 | Основная литература.....   |    |
| 6.1.2 | Дополнительная литература.....   |    |
| 6.1.3 | Периодическая литература.....  |    |
| 6.2   | Средства обеспечения освоения дисциплины.....  |    |
| 6.2.1 | Методические указания и материалы по видам занятий.....  |    |
| 6.2.2 | Программное обеспечение использ. современных информационно-коммуникационных технологий (по видам занятий). |    |
| 6.2.3 | Контрольные вопросы для самоподготовки.....  |    |
| 6.2.4 | Тесты контроля качества усвоения дисциплины.....   |    |
| 6.2.5 | Критерии оценки знаний, умений и навыков.....  |    |
| 7     | Материально-техническое обеспечение дисциплины.....  |    |
| 7.1   | Учебно-лабораторное оборудование.....  |    |
| 7.2   | Технические и электронные средства обучения и контроля знаний студентов.                                   |    |
| 8     | Методические рекомендации студентам по организации изучения дисциплины.                                    |    |
| 9     | Методические рекомендации преподавателям по методике проведения основных видов учебных занятий             |    |
| 10    | Лист согласования рабочей программы.....   |    |
| 11    | Дополнения и изменения в рабочей программе.....  |    |

## 1. Цели и задачи дисциплины «Сканирующая зондовая микроскопия»

1.1. Цель курса "Сканирующая зондовая микроскопия". Целью курса "Сканирующая зондовая микроскопия" является теоретическая и практическая подготовка студентов, которая должна обеспечивать понимание работы современных электронных приборов, методов измерения физических величин, принципов построения, работы и путей совершенствования современных цифровых систем измерений.

1.2. Задачи курса. Закрепление знаний, фундаментальных понятий, положений и теорем курсов «Основы радиоэлектроники», «Физики твердого тела и твердотельной электроники», «Теория электрических цепей», «Квантовой механики» и курса «ФКС». Формирование умений применять эти знания на практике для разработки новых измерительных приборов, методов диагностики поверхности твердых тел. Обеспечение понимания студентами связи между теоретическими моделями и особенностями их практической реализации. Теоретические результаты доводятся до конкретных рекомендаций, расчетных соотношений, схем, иллюстрируются практическими примерами.

## 2. Место дисциплины в учебном процессе

2.1. Согласно государственному образовательному стандарту ГОС курс "Сканирующая зондовая микроскопия" является общепрофессиональной дисциплиной для студентов, обучающихся по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика» и изучается студентами в 9-м семестре.

2.2. Базовые дисциплины для курса «ФКС и полупроводниковая электроника». В данном курсе предполагается более глубокое изучение отдельных разделов с акцентом на практическое инженерное состояние и развитие средств измерения. Приступая к изучению курса «Сканирующая зондовая микроскопия» студенты должны свободно владеть основными понятиями и методами квантовой механики, теории вероятности, физики конденсированного состояния, статистической физики, «ФКС и полупроводниковая электроника».

## 3. Организационно-методические данные дисциплины

3.1. Виды занятий по курсу "Сканирующая зондовая микроскопия". В курсе "Сканирующая зондовая микроскопия" предусмотрены лекции, лабораторные работы, индивидуальные занятия и самостоятельная работа студентов. Задачей лекционного курса является ориентирование слушателей в вопросах и материалах изучаемой дисциплины, в выявлении связи разделов курса между собой и с другими смежными учебными дисциплинами, в обзоре рекомендуемой научной и учебной литературы по курсу.

На лабораторных занятиях студенты приобретают навыки работы с аппаратурой, измерительными приборами, компьютерной техникой и периферийным оборудованием, прорабатывают и закрепляют учебный материал на конкретных практических задачах и примерах.

На индивидуальных занятиях проводятся консультации и контроль работы студентов с литературой по отдельным разделам курса. Самостоятельная работа студентов подразумевает проработку конспектов лекций, научно-технической литературы, подготовку к лабораторным занятиям и к зачету.

## 4. Содержание курса

| № п.п. | Тема и содержание   | Форма изучения материала  | Кол-во часов | Межпредметные связи           | Инновационные технологии, наглядные пособия, технические средства | Основная и дополнительная литература   | Задания по самостоятельной работе студентов | Количество часов | Форма контроля самостоятельной работы |
|--------|---|---------------------------|--------------|-------------------------------|---|--|---|------------------|---------------------------------------|
| 1      | <b>Введение. Исторический очерк развития электронной микроскопии и физики микрообъектов.</b>  | Лекции                    | 2            | Физическая электроника        |   | Л. 1-<br>Л. 2<br>Л. 13                 | По списку заданий                           | 2                |                                       |
| 2      | Тема 1. От полевой ионной к сканирующей туннельной микроскопии  | Лекции<br>Лаб.<br>занятия | 4<br>0       | Информатика и вычисл. техника | Демонстр. компьютер. программы                                    | Л. 1 -<br>Л. 2<br>Л. 3                 | Индивидуальные задания                      | 6                | Коллоквиум                            |
| 3      | Тема 2. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ) – новый метод исследования поверхности твердого тела; история создания СТМ.  | Лекции                    | 8<br>4       | Физическая электроника        |   | Л. 1<br>Л. 2<br>Л. 3                   | Индивидуальные задания                      | 8                | Текущие проверки конспектов           |
| 4      | <b>Тема 3. Атомно-силовая микроскопия</b>   | Лекции                    | 8<br>2       | ФКС, полупр. электроника      |   | Л. 1<br>Л. 3<br>Л. 13                  |   | 6                | Коллоквиум                            |
| 5      | <b>Тема 4. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ) и спектроскопия (СТС).</b> Топографайнер Р. Янга. Основная идея СТМ и ее реализации. Роль зондирующего острия. СТМ-изображения поверхности Au(110) и графита. Поверхность Si(111)-7×7 и модель Такаянаги. Димерная модель поверхности Si(100)-2×1. Проблемы сканирующей туннельной спектроскопии. | Лекции                    | 6<br>10<br>4 | Физическая электроника        | Демонстрационные компьютерные программы                           | Л. 1<br>Л. 2<br>Л. 4 -<br>Л. 5<br>Л. 6 | По списку вопросов                          | 8                | Коллоквиум                            |
| 6      | <b>Тема 5. Атомная структура поверхностей с адсорбатами.</b> Поверхностные фазы в субмонослойных системах адсорбат/подложка; состав поверхностных фаз; фазовая диаграмма. Семейство структур $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ и $3\times 1$ на Si(111). Фазы $2\times 1$ , $1\times 1$ и $3\times 1$ в системе H/Si(100).                                     | Лекции                    | 6            | Квантовая механика, ФКС       |   | Л. 1<br>Л. 2<br>Л. 12                  |   | 10               | Текущие проверки конспектов           |
| 7      | <b>Тема 6. Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ)</b>   | Лекции                    |              | ФКС                           |   | Л. 9                                   | По списку                                   | 4                | Коллоквиум.                           |
| 8      | <b>Тема 7. Конфокальная и ближнепольная опт. микроскопия.</b>   | Лекции                    | 2            | ФКС                           |   | Л.1                                    |   |                  |                                       |
|        | <b>Тема 8. Применение СТМ и СЗМ в нанотехнологии и нанoeлектронике.</b> Атомная сборка и самоорганизующиеся системы. Молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ) и ее применение в нанотехнологии. СТМ контроль атомных структур на поверхностях GaAs (001) и GaN(0001), выращенных методами МЛЭ. Создание и исследование квантовых наноструктур.             | Лекции                    |              | Квантовая механика, ФКС       |   | Л.7.<br>Л. 9<br>Л.11.<br>Л. 18         |   |                  | Текущие проверки конспектов           |

|  |  |        |  |     |  |                |  |  |                             |
|--|--|--------|--|-----|--|----------------|--|--|-----------------------------|
|  | <p><b>Тема 9. Фуллерены и углеродные нанотрубки.</b><br/>         Основные свойства фуллеренов и нанотрубок. Пленки фуллеренов на поверхности металлов. Взаимодействие фуллеренов с поверхностями полупроводников. Производные фуллеренов и их применение, фторфуллерены. Углеродные нанотрубки и их применение в нанoeлектронике.</p> | Лекции |  |     |  | Л.6.<br>Л.12.  |  |  | Текущие проверки конспектов |
|  | <p><b>Тема 10. Нитриды алюминия, галлия, индия и их сплавы – новые материалы для оптоэлектроники.</b></p>  | Лекции |  |     |  | Л. 11<br>Л. 18 |  |  |                             |
|  | <p><b>Тема 11. СТМ и СТС исследование элементарных физико-химических процессов на поверхности твердых тел. Молекулярная нанoeлектроника.</b></p>   | Лекции |  | ФКС |  | Л. 12<br>Л. 19 |  |  |                             |

## **4.2. Список лабораторных работ по курсу "Сканирующая зондовая микроскопия "**

- 1.** Изучение принципов сканирования поверхности твердых тел в режимах СТМ и АФМ.
- 2.** Моделирование кристаллических решеток с использованием программы Carline Crystallography 3.1.
- 3.** Изучение основ проведения векторных литографических операций на двухкоординатных аналоговых устройствах отображения.
- 4.** Изучение основ оптического метода сканирования изображений.
- 5.** Изучение характеристик и параметров полевого электронного спектрометра.
- 6.** Векторная литография.

## Литература

- [1]. Р.З. Бахтизин. Сканирующая зондовая микроскопия. (Конспект лекций по курсу). Уфа. РИИЦ БашГУ. 2017. 28 с.
- [2]. Р.З. Бахтизин. Сканирующая туннельная микроскопия – новый метод изучения поверхности твердых тел. *Соросовский Образовательный Журнал*. 2000. № 8.
- [3]. Р.З. Бахтизин, Ч. Пак, Т. Хашицуме и Т. Сакурай. *ЖЭТФ*. 1995. Т. **108**. Вып. 5. С. 977. *ЖТФ*. 1994. Т. **64**. Вып. 8. С. 113.
- [4]. Р.З. Бахтизин, Т. Хашицуме, Д.-Щ. Вонг и Т. Сакурай. *УФН*. 1997. Т. **167**. №3. С. 289.
- [5]. Р.З. Бахтизин, К.-К. Щуе, Т. Хашицуме и Т. Сакурай. *УФН*. 1997. Т. **167**. №11. С. 1227.
- [6]. Р.З. Бахтизин. Голубые диоды. *Соросовский Образовательный Журнал*. 2001. № 3. С. 75.
- [7]. Р.З. Бахтизин, К.-К. Щуе, Ю. Хасегава, Т. Сакурай. *ЖЭТФ*. 2000. Т. **113**. Вып. 11. С. 1153.
- [8]. Р.З. Бахтизин и Р.Р. Галлямов. *Физические основы сканирующей зондовой микроскопии*. Уфа: БашГУ. 2004.
- [9]. Р.З. Бахтизин, Ч.-Ж. Щуе, Ч.-К. Щуе, К.-Х. Ву, Т. Сакурай. *УФН*. 2004. Т. **174**. №4. С.383.
- [10]. К. Оура, В.Г. Лифшиц, А.А. Саранин, А.В. Зотов, М. Катаяма. *Введение в физику поверхности*. М.: Наука.-2006. 490 с.

## Дополнительная литература

- [11]. В.Л. Миронов. *Основы сканирующей зондовой микроскопии*. Нижний Новгород: ИФМ РАН. 2004.
- [12]. А.В. Елецкий, Б.М. Смирнов. *УФН*. 1995. Т. **165**. № 9. С. 977. *УФН*. 1993. Т. **163**. №1. С. 33. *УФН*. 2002. Т. **172**. №4. С. 401.
- [13]. L.E. Murr. *Electron and Ion Microscopy and Microanalysis. Principles and applications*. 2<sup>nd</sup> Edition. NY-Basel-Hong Kong: 1991.
- [14]. S. Nakamura, G. Fasol. *The Blue Laser Diodes (GaN Based Light Emitters and Lasers)*. Berlin-Heidelberg: Springer. 1997. 175 p.
- [15]. Ph. Avouris and R. Wolkow. *Physical Review B*. 1989. V. **39**. №8. P. 5091.

## Критерии оценки знаний, умений и навыков студентов

Итоговой формой контроля знаний, умений и навыков по дисциплине является экзамен.

Экзамен проводится по билетам, которые включают два теоретических вопроса и три задачи.

Оценка знаний студентов производится по следующим критериям:

Оценка **«отлично»** выставляется студенту, если он свободно ориентируется в основных понятиях, определениях и выводах данного предмета, четко представляет назначение и выполняемые функции радиотехнических компонентов, умеет реализовывать алгоритмы цифровой обработки сигналов на функциональном и программном уровне, четко представляет источники возникновения погрешностей и методы их расчета.

Оценка **«хорошо»** выставляется студенту, если он свободно ориентируется в основных понятиях, определениях и выводах данного предмета, четко представляет назначение и выполняемые функции радиотехнических компонентов, умеет реализовывать алгоритмы цифровой обработки сигналов на функциональном и программном уровне, четко представляет источники возникновения погрешностей и методы их расчета, однако, для полного ответа на отдельные поставленные вопросы требуются дополнительные пояснения и уточнения со стороны преподавателя.;

оценка **«удовлетворительно»** выставляется студенту, если он ориентируется в основных понятиях, определениях и выводах данного предмета, в целом представляет назначение и выполняемые функции радиотехнических компонентов, умеет реализовывать алгоритмы цифровой обработки сигналов на функциональном и программном уровне, имеет общее представление об источниках возникновения погрешностей и методах их расчета, однако, для полного ответа на отдельные поставленные вопросы требуются существенные пояснения и уточнения со стороны преподавателя;

оценка **«неудовлетворительно»** выставляется студенту, если он не ориентируется в основных понятиях, определениях и выводах данного предмета, не представляет себе назначение и выполняемые функции радиотехнических компонентов, затрудняется в реализации алгоритмов цифровой обработки сигналов на функциональном и программном уровне, не имеет общих представлений об источниках возникновения погрешностей и методах их расчета.



## Методические рекомендации студентам по организации изучения

### дисциплины

1. Приступая к изучению предмета, необходимо ознакомиться с учебной программой курса "Сканирующая зондовая микроскопия".
2. Каждый раздел курса "Сканирующая зондовая микроскопия" должен быть в процессе изучения кратко законспектирован.
3. После проработки каждого раздела курса "Сканирующая зондовая микроскопия" по конспектам лекций и по рекомендованным учебным пособиям необходимо ответить на контрольные вопросы, помещенные в конце каждой темы учебного пособия.
4. Преподаватель проводит в конце каждого семестра собеседование со студентами по конспектам лекций и других записей.
5. Отчеты по лабораторным работам оформляются на компьютере индивидуально каждым студентом. Все графические и численные результаты формируются в виде цифровых копий экрана. Полученные на лабораторных занятиях результаты переписываются на индивидуальные съемные носители информации.
6. По каждому заданию лабораторной работы в отчете должны быть сформулированы аргументированные выводы. Не допускается ограничиваться выводами не по существу. Например, не следует использовать фразы со словами «Выполнили ...», «Изучили ...», «Освоили ...», «Узнали ...» и т.п.
7. Отчет по каждой лабораторной работе публично защищается студентом. Во время защиты студент должен продемонстрировать понимание всех методических подходов, связанных с выполнением данной лабораторной работы. Полученные численные и графические результаты должны быть кратко описаны в тексте отчета и в выводах.
8. При защите каждой лабораторной работы студент должен показать следующее:
  - Степень усвоения теоретического материала;
  - Практические навыки выполнения компьютерных расчетов по изученным теоретическим зависимостям;
  - Умение расчетов погрешностей измерений, связанные с цифровой обработкой измерительной информации и особенностями выбранных систем управления;
  - Объем и полноту изучения рекомендованных литературных источников.