

ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Утверждено:  
на заседании кафедры  
протокол №3 от «12» января 2022 г.

Согласовано:  
Председатель УМК физико-технического  
института

Зав. кафедрой



\_/ Т.И. Шарипов



\_\_\_\_\_/М.Х. Балапанов

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

дисциплина \_\_\_\_\_ Современные методы исследования твердых тел \_\_\_\_\_

*(наименование дисциплины)*

\_\_\_\_\_ вариативная \_\_\_\_\_

*(Цикл дисциплины и его часть (базовая, вариативная, дисциплина по выбору))*

**программа бакалавриата**

Направление подготовки

03.03.03 Радиофизика

*(наименование ООП ВПО направления подготовки или специальности с указанием кода)*


Профиль(и) подготовки

Цифровые технологии обработки информации

Квалификация

\_\_\_\_\_ бакалавр \_\_\_\_\_

*(указывается квалификация)*

Разработчик (составитель) _____ <u>д.ф.-м.н., проф.</u> _____ (должность, ученая степень, ученое звание)	 _____ / <u>Бахтизин Р.З.</u> (подпись, Фамилия И.О.)
--	--

Для приема: 2022 г.

Уфа 2022 г.

Составитель / составители: Бахтизин Р.З., д.ф.-м.н., проф. кафедры физической электроники и нанопластики БашГУ.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры протокол от «12» января 2022 г. № 3

Заведующий кафедрой



\_\_\_\_\_ / Т.И. Шарипов /

## 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

**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 понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования.

**ПК-2** способностью использовать основные методы радиофизических измерений.

Для формирования указанных компетенций и освоения образовательной программы обучающийся должен показать следующие результаты обучения по дисциплине:

**Табл. 1**

Результаты обучения		Формируемая компетенция (с указанием кода)	Примечание
Знания	1. Знать основные материалы, используемые в твердотельной электронике, технологии их получения и области применения	<b>ПК-1</b>	
	2. Знать основные методы измерения работы выхода и других характеристик, используемых в твердотельной электронике материалов	<b>ПК-1</b>	
	3. Знать приборную базу и конструкции основных устройств, используемых для определения базовых характеристик п/п материалов	<b>ПК-2</b>	
Умения	1. Использовать знания, полученные при изучении этого курса, для последующего изучения курсов физики конденсированного состояния, нанoeлектроники и нанofизики	<b>ПК-1</b>	
	2. Разрабатывать технологические карты получения новых полупроводниковых материалов и пленочных систем	<b>ПК-1</b>	
	3. Использовать правильную терминологию, определения/обозначения/единицы измерения величин для описания характеристик твердотельных материалов и областей их применения	<b>ПК-2</b>	
Владения (навыки / опыт деятельности)	1. Владеть экспериментальными навыками по определению свойств материалов, в том числе методами электронной и фотоэлектронной спектроскопии	<b>ПК-1</b>	
	2. Владеть методиками решения задач по определению базовых характеристик тонких пленок металлов и полупроводников	<b>ПК-2</b>	

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

2.1. Дисциплина “Современные методы исследования твердых тел” является базовой и входит в раздел «Б1.В.05.» ФГОС по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика». Знания, полученные в результате освоения курса “Современные методы исследования твердых тел” позволяют создавать электронные приборы и вырабатывать методы исследования новых материалов, необходимых для разработки новых электронных приборов и устройств. Поэтому, изучение дисциплины является одним из необходимых элементов подготовки специалистов по данному направлению.

Цель курса “Современные методы исследования твердых тел”- 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.

2.2. Дисциплина “Современные методы исследования твердых тел” одна из основных дисциплин профиля, так как без знания физико-химических характеристик материалов и протекающих в них физических процессов невозможны сознательные и эффективные подходы к разработке изделий электронной техники и к организации технологических процессов. По предмету и методам своих исследований данный курс тесно связан с физической конденсированного состояния и физическими основами электроники и способствует формированию у будущих специалистов принципов физического и инженерного подхода к оценке возможностей использования материалов в конкретных элементах и устройствах электронной техники. Задачи курса - закрепление знаний, фундаментальных понятий, положений и теорем и формирование умений применять эти знания на практике для разработки новых измерительных приборов, методов диагностики поверхности твердых тел, а также обеспечение понимания студентами связи между теоретическими моделями и особенностями их практической реализации.

2.3. Место дисциплины в учебном процессе. Согласно государственному образовательному стандарту ФГОС курс “Современные методы исследования твердых тел” является общепрофессиональной дисциплиной для студентов, обучающимися по направлению 03.03.03 «Радиофизика» и изучается студентами во 2 семестре.

## **3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

3.1. Согласно ОП подготовки бакалавра по направления 03.03.03\_ «Радиофизика», профиль «Радиофизика и электроника» и рабочему учебному плану (РУП) по дисциплине «Современные методы исследования твердых тел» отводится:

общий объем часов по дисциплине	72 (всего 2 ЗЕТ);
в том числе аудиторных часов	48;
контактных часов	48,2.

Разбиение общего числа часов по видам учебных занятий с указанием их объемов приведено в таблице 2

Табл. 2

Виды учебной работы	Общий объем по РУП_102_
Аудиторные занятия	54
Лекции	0
Лабораторные занятия	18
Семинарские занятия	36
Самостоятельная работа студентов	16
Контроль самостоятельной работы (КСР)	2
Виды контроля	Зачет

#### 4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и видов учебных занятий

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

дисциплины «Современные методы исследования твердых тел» на 2 семестр

*(наименование дисциплины)*

Рабочую программу осуществляют: Зачетных единиц трудоемкости (ЗЕТ) 2

Учебных часов:  
лекций 16

Лекции: профессор кафедры физической электроники и нанофизики, д.ф.-м.н. Бахтизин Р.З.

семинарских 0 (2 семестр)

*(должность, уч. степень, ф.и.о.)*

лабораторных 32 (2 семестр)

самостоятельная работа студентов 23,8  
КСР    (2 семестр)

В том числе контактных часов 48,2

Лабораторные и практические занятия: доцент кафедры физической электроники и нанофизики, к.ф.-м.н. Шарипов Т.И.

*(должность, уч. степень, ф.и.о.)*

## 5. Содержание курса

№ п.п.	Тема и содержание	Форма изучения материала	Кол-во часов	Межпредметные связи	Основная и дополнительная литература	Задания по самостоятельной работе студентов	Количество часов	Форма контроля самостоятельной работы
1	<b>Введение.</b> Исторический очерк развития электронной микроскопии и физики микрообъектов.	лекция	2	Физическая электроника	Л. 1- Л. 13	По списку заданий	2	
2	<b>Тема 1. 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..	Лекция Лабораторные занятия Самостоятельная работа	6 0 4	Информатика и вычислительная техника	Л. 1 - Л. 2 Л. 3 Л. 14	Индивидуальные задания	6	Коллоквиум
3	<b>Тема 2. 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).	Лабораторные занятия Самостоятельная работа	8 4	Физическая электроника	Л. 1 Л. 2 Л. 3	Индивидуальные задания	8	Текущие проверки конспектов изучения литературы,
4	<b>Тема 3. 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 Лабораторные занятия Самостоятельная работа	8 2	Физика твердого тела и твердотельная электроника	Л. 1 Л. 3 Л. 13		6	Коллоквиум
5	<b>Тема 4. Фуллерены и углеродные нанотрубки.</b> 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. Графен и его свойства							

6	Тема 5. Нитриды алюминия, галлия, индия и их сплавы – новые материалы для оптоэлектроники.							
7	Тема 6. СТМ и СТС исследование элементарных физико-химических процессов на поверхности твердых тел. Молекулярная наноэлектроника.							
8	Топологические изоляторы.							

**Список лабораторных работ по курсу  
"Современные методы исследования твердых тел"**

1. Проведение структурного анализа поверхности твердых тел при различных масштабах.
2. Изучение принципов сканирования поверхности твердых тел в режимах СТМ и АСМ.
3. Моделирование кристаллических решеток с использованием программы Carline Crystallography 3.1.
4. Изучение основ проведения векторных литографических операций на двухкоординатных аналоговых устройствах отображения.
5. Изучение основ оптического метода сканирования изображений.



## 6. Литература

### 1. Основная

- [1]. К. Оура, В.Г. Лифшиц, А.А. Саранин, А.В. Зотов, М. Катаяма. *Введение в физику поверхности*. М.: Наука.-2006. 490 с.
- [2]. Р.З. Бахтизин и Р.Р. Галлямов. *Физические основы сканирующей зондовой микроскопии*. Уфа: БашГУ. 2004.
- [3]. В.Л. Миронов. *Основы сканирующей зондовой микроскопии*. Нижний Новгород: ИФМ РАН. 2004.

### 2. Дополнительная

- [4]. 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.
- [5]. Р.З. Бахтизин, Т. Хашицуме, Д.-Щ. Вонг и Т. Сакурай. *УФН*. 1997. Т. **167**. №3. С. 289.
- [6]. Р.З. Бахтизин, К.-К. Щуе, Т. Хашицуме и Т. Сакурай. *УФН*. 1997. Т. **167**. №11. С. 1227.
- [7]. Р.З. Бахтизин. Голубые диоды. *Соросовский Образовательный Журнал*. 2001. № 3. С. 75.
- [8]. Р.З. Бахтизин, К.-К. Щуе, Ю. Хасегава, Т. Сакурай. *ЖЭТФ*. 2000. Т. **113**. Вып. 11. С. 1153.
- [9]. Р.З. Бахтизин, Ч.-Ж. Щуе, Ч.-К. Щуе, К.-Х. Ву, Т. Сакурай. *УФН*. 2004. Т. **174**. №4. С.383.
- [10]. 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.
- [11]. Р.З. Бахтизин. Сканирующая туннельная микроскопия – новый метод изучения поверхности твердых тел. *Соросовский Образовательный Журнал*. 2000. № 8.
- [12]. L.E. Murr. *Electron and Ion Microscopy and Microanalysis. Principles and applications*. 2<sup>nd</sup> Edition. NY-Basel-Hong Kong: 1991.
- [13]. S. Nakamura, G .Fasol. *The Blue Laser Diodes (GaN Based Light Emitters and Lasers)*.Berlin-Heidelberg: Springer. 1997. 175p.
- [14]. Ph. Avouris and R. Wolkow. *Physical Review B*. 1989. V. **39**. №8. P. 5091.

## 7. 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.

## 8. Методические рекомендации студентам по организации изучения дисциплины

1. Приступая к изучению предмета, необходимо ознакомиться с учебной программой курса «Современные проблемы физической электроники».
2. Каждый раздел курса «Современные проблемы физической электроники» должен быть в процессе изучения кратко законспектирован.
3. После проработки каждого раздела курса «Современные проблемы физической электроники» 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.