

ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Утверждено:
на заседании кафедры
протокол № 3 от « 19 » января 2021 г.

Зав. кафедрой  /Мулюков Р.Р.

Согласовано:
Председатель УМК факультета /института

 /Балапанов М.Х.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

дисциплина **Зондовая микроскопия в исследовании наноматериалов**

Дисциплины по выбору Б1.В.04 Часть, формируемая участниками образовательных отношений

программа бакалавриата

Направление подготовки (специальность)
28.03.03 Наноматериалы

Направленность (профиль) подготовки
Объемные наноструктурные материалы

Квалификация
Бакалавр

Разработчик (составитель) профессор, д.ф.-м.н.	 / Юмагузин Ю.М
--	--

Для приема: 2021 г.

Уфа 2021 г.

Составитель / составители: д.ф.-м.н., профессор Юмагузин Ю.М.

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

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины, утверждены на заседании кафедры протокол № 7 от « 10 » июня 2021 г.

Заведующий кафедрой



/ Мулюков Р.Р.

Список документов и материалов (оглавление)

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы	5
3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся) - (Приложение №1)	5 (15)
4. 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)
5. 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
6. 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

При изучении дисциплины «Сканирующая зондовая микроскопия» у обучающегося должны формироваться следующие компетенции:

ОПК-5 способностью использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных;

ОПК-7 способностью учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности;

ПК-1 способностью строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования;

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

Результаты обучения		Формируемая компетенция (код)	Примечание
Знания	1. Знать основные характеристики и параметры поверхности твердых тел	ОПК-5	
	2. Знать физические основы методов сканирующей зондовой микроскопии	ОПК-7	
	3. Знать и уметь интерпретировать получаемые изображения и данные исследований для различных методик сканирующей зондовой микроскопии	ПК-1	
Умения	1. Использовать знания, полученные при изучении физических основ метода сканирующей зондовой микроскопии, при исследовании структуры конденсированных сред и процессов в них	ОПК-5, ОПК-7	
	2. Умение выбирать подходящую методику СЗМ для исследования конкретного типа поверхности твердого тела	ПК-1	
Владения (навыки / опыт деятельности)	1. Владеть навыками проведения исследований структуры конденсированных сред и процессов в них с использованием метода сканирующей зондовой микроскопии.	ОПК-5, ОПК-7	
	2. Владеть навыками использования научных программ, реализующих метод сканирующей зондовой микроскопии и анализа атомной структуры твердых тел по результатам моделирования.	ПК-1	

2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Сканирующая зондовая микроскопия» относится к *обязательной* части рабочего учебного плана.

Дисциплина изучается на 4 курсе в 8 семестре.

Целью данной дисциплины является выработка у студентов корректных представлений о применении методов зондовой микроскопии для исследования поверхности твердых тел с различными способами зондовой микроскопии с нанометровым разрешением.

Дисциплина «Сканирующая зондовая микроскопия» заканчивает цикл дисциплин «Общая физика», в которых рассматриваются, в основном, классические представления физики, 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.

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

ОПК-5 способностью использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных;

ОПК-7 способностью учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности;

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 «Не удовлетворительно»	3 «Удовлетворительно»	4 «Хорошо»	5 «Отлично»
Первый этап (начальный уровень)	знать технику 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	1. не знает элементарных и современных проблем микроскопии	1.обладает элементарными и современными проблемами микроскопии	1. обладает знанием элементарных и современных проблем микроскопии за исключением некоторых	1. знает элементарных и современных проблем микроскопии
Второй этап (базовый уровень)	Устройства для прецизионных перемещений зонда и образца. Защита зондовых микроскопов от внешних воздействий. Стабилизация термодрейфа положения зонда над поверхностью Формирование и обработка СЗМ изображений. Устранение искажений, связанных с неидеальностью сканера	1. не умеет применять основные знания для представления применения основ электроники	1. умеет применять основные знания для представления применения основ микроскопии	1. умеет применять основные знания для представления применения основ микроскопии	1. умеет применять основные знания для представления применения основ микроскопии
Третий этап (повышенный уровень)	Фильтрация СЗМ изображений. Методы восстановления поверхности по ее СЗМ изображению. Сканирующая туннельная микроскопия. Зонды для туннельных микроскопов. Измерение локальной работы выхода в	1. не владеет знаниями о методах зондовой микроскопии	1. владеет знаниями о методах зондовой микроскопии	1. владеет знаниями о методах зондовой микроскопии	1. владеет знаниями о методах зондовой микроскопии

	СТМ. Измерение вольт-амперных характеристик туннельного контакта. Система управления сканирующего туннельного микроскопа. Конструкции сканирующих туннельных микроскопов.				
--	---	--	--	--	--

ПК-1 способностью строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования;

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 «Не удовлетворительно»	3 «Удовлетворительно»	4 «Хорошо»	5 «Отлично»
Первый этап (начальный уровень)	ВАХ контакта металл-металл, ВАХ контакта металл-полупроводник. Туннельная спектроскопия, система управления сканирующего туннельного микроскопа. Конструкции сканирующих туннельных микроскопов.	1. не знает элементарных и современных проблем микроскопии	1. обладает элементарными и современными проблемами микроскопии	1. обладает знанием элементарных и современных проблем микроскопии за исключением некоторых	1. знает элементарных и современных проблем микроскопии
Второй этап (базовый уровень)	ВАХ контакта металл-металл, ВАХ контакта металл-полупроводник. Туннельная спектроскопия, Атомно-силовая микроскопия. Зондовые датчики атомно-силовых микроскопов. Контактная атомно-силовая микроскопия. Зависимость силы от расстояния между зондовым датчиком и образцом.	1. не умеет применять основы знаний для представления применения основ электроники	1. умеет применять основы знаний для представления применения основ микроскопии	1. умеет применять основы знаний для представления применения основ микроскопии	1. умеет применять основы знаний для представления применения основ микроскопии
Третий этап (повышенный уровень)	Колебательные методики АСМ, вынужденные колебания кантилевера. "Полуконтактный" режим колебаний кантилевера АСМ, Электросиловая микроскопия (ЭСМ). Принцип работы ЭСМ. Двухпроходная методика. Магнитно-силовая микроскопия (МСМ). Квазистатические методики МСМ,	1. не владеет знаниями о методах зондовой микроскопии	1. владеет знаниями о методах зондовой микроскопии	1. владеет знаниями о методах зондовой микроскопии	1. владеет знаниями о методах зондовой микроскопии

	колебательные методики МСМ.				
--	-----------------------------	--	--	--	--

Критериями оценивания являются баллы, которые выставляются преподавателем за виды деятельности (оценочные средства) по итогам изучения модулей (разделов дисциплины), перечисленных в рейтинг-плане дисциплины.

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

Этапы освоения	Результаты обучения	Компетенция	Оценочные средства
1-й этап Знания	Знать технику сканирующей зондовой микроскопии, сканирующие элементы зондовых микроскопов, недостатки сканеров (нелинейность, крип, гистерезис). Устройства для прецизионных перемещений зонда и образца, щита зондовых микроскопов от внешних воздействий. Стабилизация термодрейфа положения зонда над поверхностью. Туннельная спектроскопия, система управления сканирующего туннельного микроскопа. Конструкции сканирующих туннельных микроскопов. Фильтрация СЗМ изображений, методы восстановления поверхности по ее СЗМ изображению	ОПК-5, ОПК-7, ПК-1	Тест, контрольная работа
2-й этап Умения	Уметь снимать ВАХ контакта металл-металл, ВАХ контакта металл-полупроводник. Умение формирования и обработки СЗМ изображений. Устранение искажений, связанных с неидеальностью сканера, фильтрация СЗМ изображений. Методы восстановления поверхности по ее СЗМ изображению. Зависимость силы от расстояния между зондовым датчиком и образцом	ОПК-5, ОПК-7, ПК-1	Контрольная работа Тест
3-й этап Владеть навыками	Владеть методами сканирующей туннельной микроскопии, измерением локальной работы выхода в СТМ. Измерение вольт-амперных характеристик туннельного контакта. Владеть методами атомно-силовой микроскопии, электросиловой микроскопии (ЭСМ), принципами работы ЭСМ, двухпроходная методика; магнитно-силовой микроскопией (МСМ), квазистатические методики МСМ, колебательные методики МСМ	ОПК-5, ОПК-7, ПК-1	Контрольная работа, тест

4.3 Рейтинг-план дисциплины

Рейтинг–план дисциплины представлен в приложении 2.

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 незначительная 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 (415 аудитория).

Лабораторные занятия проводятся в специализированной лаборатории физико-технического института (118 кабинет). В таблице 5 приведены сведения об основном оборудовании, которое используется при выполнении лабораторных работ.

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

Таблица 5

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
1	2	3
Аудитория 415	Лекции	Компьютер, мультимедийный проектор, экран, доска, программы: Windows, MS Power Point
Аудитория 118	Лабораторные работы по сканирующей зондовой микроскопии	СЗМ Наноэдюкатор II (4 терминалов)

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, методику обработки результатов,
- теоретические расчеты, анализ полученных данных и сравнение их с литературными;
- выводы;
- список использованной литературы.

По итогам каждой лабораторной работы преподаватель выставляет оценку, учитывающую 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

Рабочую программу осуществляют:

Лекции: профессор, д.ф.-м.н., Юмагузин Юлай Мухаметович,
(должность, уч. степень, ф.и.о.)

Лабораторные занятия: профессор, д.ф.-м.н., Юмагузин Юлай Мухаметович
(должность, уч. степень, ф.и.о.)

Вид работы	Объем дисциплины
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 самостоятельной работы	Форма контроля самостоятельной работы студентов (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
1	2	3	4	5	6	7	8
Модуль 1: Техника сканирующей зондовой микроскопии							
1.	<p>Введение. 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</p>	<u>Лекция</u> Лабораторные занятия	2	[1]; [2], Введение	Электрические свойства диэлектриков. Пьезоэлектричество. Сегнетоэлектрики. [1]	6	Письменный опрос
2.	<p>Формирование и обработка СЗМ изображений. Устранение искажений, связанных с неидеальностью сканера. Фильтрация СЗМ изображений. Методы восстановления поверхности по ее СЗМ</p>	<u>Лекция</u> Лабораторные занятия	4 4	2, § 1.1-1.4 3 (с.60-69) 4, гл.2	Электромагнитная индукция. Электродвигатели. Упругость твердых тел, упругая сила. [2] § 1.5, 1.6	8	Выборочный опрос, контрольная работа

	изображению						
Модуль 2. Сканирующая туннельная микроскопия							
5	Сканирующая туннельная микроскопия. Зонды для туннельных микроскопов. Измерение локальной работы выхода в СТМ. Измерение вольт-амперных характеристик туннельного контакта.	<u>Лекция</u> Лабораторные занятия	2 6	2, § 4.1-4.7 3, гл. 3 4, гл.5 [2], Л. р. № 3	Квантово-механическое представление о туннелировании электронов. 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.	<u>Лекция</u> Лабораторные занятия	4 4	2, § 5.1-5.3 3, гл. 3 4, гл.5 [2], Л. р. № 5,8	Работа выхода электронов. Электронная структура поверхности. 2, § 3.7, 3.8	8	Защита отчета
Модуль 3. Атомно-силовая, электро- и магнитно-силовая микроскопия							
3.	Атомно-силовая микроскопия. Зондовые датчики атомно-силовых микроскопов. Контактная атомно-силовая микроскопия. Зависимость силы от расстояния между зондовым датчиком и образцом.	<u>Лекция</u> Лабораторные занятия	4 4	2, § 2, 3.1-3.6, 3.9 3, гл. 3 4, гл.5 [2], Л. р. № 2	Ван-дер-Ваальсовы силы взаимодействия. Упругость твердых тел, упругая сила.	8	Контрольная работа, решение задач Защита отчета
4	Система управления АСМ при работе кантилевера в контактном режиме. Колебательные	<u>Лекция</u> Лабораторные	4 4	[2], Л. р. № 1	Свободные и вынужденные колебания.	10	Защита отчета

	методики АСМ, вынужденные колебания кантилевера. "Полуконтактный" режим колебаний кантилевера АСМ .	занятия			Способы цифровой фильтрации. Фурье преобразование – прямое и обратное.		
7	Электросиловая микроскопия (ЭСМ). Принцип работы ЭСМ. Двухпроходная методика. Магнитно-силовая микроскопия (МСМ). Квазистатические методики МСМ, колебательные методики МСМ. Система управления АСМ, ЭСМ, МСМ (колебательные методики).	Лекция Лабораторная работа	2 4	2, § 6.1-6.3 [2], Л. р. № 4	Физика поверхности, диполи, зарядовое состояние поверхности. Ферромагнетики	8	Выборочный опрос, контрольная работа, Защита отчета
8	Ближнепольная оптическая микроскопия (БОМ). Зонды БОМ на основе оптического волокна. Конфигурации БОМ.	Лекция Лабораторная работа	2 4	2, § 8.1-8.4 [2], Л. р. № 7	Разрешение в оптических микроскопах. Дифракция света. Когерентность.	8	Выборочный опрос, контрольная работа, Защита отчета
9							
		ИТОГО	24 30 54			86	зачет

Рейтинг – план дисциплины

«Сканирующая зондовая микроскопия»

(название дисциплины согласно рабочему учебному плану)

направление «Электроника и наноэлектроника», направленность (профиль) «Электронные приборы и устройства»курс 4, семестр 8_ 2018 /2019 уч.г.Количество часов по учебному плану 144, в т.ч. контактная работа 72, самостоятельная работа 70, ФКР - 2.

Преподаватели:

лекции Юмагузин Юлай Мухаметович, д.ф.-м.н., профессор.практические занятия Юмагузин Юлай Мухаметович, д.ф.-м.н., профессор.Кафедра: инфокоммуникационных технологий и наноэлектроники

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Мини-мальный	Макси-мальный
Модуль 1 «Техника сканирующей зондовой микроскопии.»				
Текущий контроль				
Тест 1	4	5	0	20
Рубежный контроль				
1. Контрольная работа №1	5	3	0	15
ВСЕГО ПО МОДУЛЮ 1			0	35
Модуль 2 «Сканирующая туннельная микроскопия. Атомно-силовая, электро- и магнитно-силовая микроскопия»				
Текущий контроль				
3. Контрольная работа №2	5	4	0	20
Рубежный контроль				
1. Тест 2	3	5	0	15
ВСЕГО ПО МОДУЛЮ 2			0	35
Поощрительные баллы				
Участие в олимпиадах по общей физике (баллы за задачи по атомной 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				
Экзамен	9 (вопрос билета)	2 вопроса	Макс. 18 б.	30
	3 (доп. вопрос)	2	Макс. 6 б.	
	6 (задача)	1	Макс. 6 б.	

Утверждено на заседании кафедры инфокоммуникационных технологий и наноэлектроникиПротокол № 1 от «30» августа 2018 г.

Зав. кафедрой _____ /Салихов Р.Б.. /

Преподаватели _____ /Юмагузин Ю.М.. /

_____ /Габбасова А./