

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Основы сканирующей зондовой микроскопии

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

03.03.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Радиофизика и электроника

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.03 Основы сканирующей зондовой микроскопии относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен осваивать принципы работы и методы эксплуатации современной и перспективной радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры	ПК-1.1: Применяет теоретические основы создания и принципы функционирования радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры ПК-1.2: Осваивает новые технологии радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры, используя специальную, научную и учебную литературу	ПК-1.1: Знать общий принцип работы сканирующих зондовых микроскопов. Уметь объяснить принцип работы оптической системы атомно-силового микроскопа. ПК-1.2: Владеть навыком поиска информации о методиках зондовой микроскопии и областях ее применения.	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы
ПК-2: Способен осваивать и применять современные и перспективные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики	ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи ПК-2.3: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации в ходе планирования, подготовки, проведения НИР в области	ПК-2.1: Знать современные методы сканирующей зондовой микроскопии. ПК-2.2: Знать устройство, принцип работы и особенности конструкции зондовых микроскопов различного типа. Уметь аргументированно выбирать подходящую методику зондовой микроскопии в соответствии со спецификой объекта исследований. Владеть навыком цифровой обработки СЗМ изображений. ПК-2.3: Знать основные типы	Задания	Зачёт: Контрольные вопросы

	радиофизики	возможных искажений в изображениях зондовой микроскопии. Уметь аргументировано делать выводы и на основе результатов проведенного исследования. Владеть навыком анализа СЗМ изображений.		
--	-------------	--	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	2
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	0
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	22
- КСР	1
самостоятельная работа	49
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Введение	4	0	2	2	2
Основные принципы работы сканирующих зондовых микроскопов	16	0	5	5	11
Методы сканирующей зондовой микроскопии	31	0	11	11	20
Анализ искажений и обработка изображений сканирующей зондовой микроскопии	20	0	4	4	16
Аттестация	0				

КСР	1			1	
Итого	72	0	22	23	49

Содержание разделов и тем дисциплины

Раздел 1. Введение

Предмет и задачи курса.

Возможности современных сканирующих зондовых микроскопов и области их применения.

Структура курса.

Раздел 2. Основные принципы работы сканирующих зондовых микроскопов

Общие принципы работы сканирующих зондовых микроскопов. Обеспечение высокого разрешения.

Устройство сканирующих элементов.

Реализация прецизионных перемещений зонда и образца. Система обратной связи.

Сканирование поверхности.

Раздел 3. Методы сканирующей зондовой микроскопии

Основные типы взаимодействия зонда с поверхностью образца.

Сканирующая туннельная микроскопия. Методика СТМ измерения локальной работы выхода.

Атомно-силовая микроскопия. Конструкция зондовых датчиков. Оптические методы регистрации изгиба консоли зондового датчика. Контактные квазистатические методики АСМ измерений.

Бесконтактные и «полуконтактные» колебательные методики АСМ измерений. Описание вынужденных колебаний кантилевера с помощью модели сосредоточенной массы. Особенности применения квазистатических и колебательных методик атомно-силовой микроскопии.

Магнитно-силовая микроскопия. Двухпроходная методика измерений. Квазистатические и колебательные методики МСМ измерений. Расчет контраста МСМ изображений.

Электросиловая микроскопия. Двухпроходная методика измерений. Метод Кельвина.

Ближнепольная оптическая микроскопия.

Раздел 4. Анализ искажений и обработка изображений сканирующей зондовой микроскопии

Формирование СЗМ-изображений. Основные причины появления искажений в СЗМ изображениях поверхности.

Защита сканирующих зондовых микроскопов от внешних воздействий.

Основные методы устранения систематических ошибок АСМ изображений.

Основные методы фильтрации АСМ изображений и специфика их применения при различных типах искажений.

Восстановление реальной морфологии поверхности образца.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Исследование рельефа поверхности полупроводниковой НЕМТ-структуры методом атомно-силовой микроскопии : практикум / Е. В. Волкова, И. Ю. Забавичев, С. В. Оболенский ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2015. - 17 с.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Принцип работы сканирующего зондового микроскопа.
2. Устройство сканирующего элемента.
3. Оптический метод регистрации малых изгибов упругой консоли зондового датчика.
4. Основные типы взаимодействия зонда с поверхностью.
5. Принцип реализации туннельного микроскопа.
6. Принцип реализации атомно-силового микроскопа.
7. Принцип реализации электросилового микроскопа.
8. Принцип реализации магнитно-силового микроскопа.
9. Принцип реализации ближнепольного оптического микроскопа.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми. Продемонстрированы основные умения.
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

Произвести медианную фильтрацию заданного СЗМ изображения.

Произвести усреднение по строкам для заданного СЗМ-изображения.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми. Продemonстрированы основные навыки и умения.
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При выполнении заданий не продемонстрированы основные умения и базовые навыки

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие	При решении	Имеется	Продemonс	Продemonс	Продemonс	Продemonс

	базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	трированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	трированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	трированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	ирован творческий подход к решению нестандартных задач
--	---	---	---	--	---	---	--

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Принцип работы сканирующего зондового микроскопа.
2. Устройство сканирующего элемента.
3. Оптический метод регистрации малых изгибов упругой консоли зондового датчика.
4. Основные типы взаимодействия зонда с поверхностью.
5. Принцип реализации туннельного микроскопа.

6. Принцип реализации атомно-силового микроскопа.
7. Принцип реализации электросилового микроскопа.
8. Принцип реализации магнитно-силового микроскопа.
9. Принцип реализации ближнепольного оптического микроскопа.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Различные методики СЗМ измерений. Их преимущества и недостатки.
2. Причины, ограничивающие разрешение СЗМ.
3. Формирование СЗМ изображений.
4. Артефакты АСМ изображений. Искажающие эффекты.
5. Обработка СЗМ изображений. Основные фильтры и устраняемые ими искажения изображений.
6. Восстановление реальной геометрии объектов по СЗМ изображению.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми. Продемонстрированы основные умения и навыки.
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Ответы на вопросы не прозвучали или содержали серьезные ошибки.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Рыков Сергей Александрович. Сканирующая зондовая микроскопия полупроводниковых материалов и наноструктур : учеб. пособие для студентов вузов / под ред. В. И. Ильина, А. Я. Шика. - СПб. : Наука, 2001. - 52 с. : 29 ил. - (Новые разделы физики полупроводников). - Федер. целевая программа "Гос. поддержка интеграции высш. образования и фундам. науки на 1997-2000 г.". - ISBN 5-02-024956-4 : 15.00., 10 экз.
2. Корнилов В. М. Основы зондовых технологий : методическое пособие / Корнилов В. М., Галиев А. Ф. - Уфа : БГПУ имени М. Акмуллы, 2013. - 40 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции БГПУ имени М. Акмуллы - Физика. - ISBN 978-5-87978-

719-1., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=712649&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Методы зондовой микроскопии : учебное пособие / Рыбин Н. Б., Рыбина Н. В., Литвинов В. Г., Ермачихин А. В. - Рязань : РГРТУ, 2014. - 48 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции РГРТУ - Инженерно-технические науки., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=752665&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

<https://www.ntmdt-si.ru>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.03.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Волкова Екатерина Валерьевна, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Оболенский Сергей Владимирович, доктор технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18 декабря 2023 г., протокол № 09/23.