

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского»

УТВЕРЖДЕНО
решением
Ученого совета ННГУ
протокол от
«_____» _____ 202_ г. № _____

Рабочая программа дисциплины

Сканирующая зондовая микроскопия

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

03.04.02 Физика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

магистерская программа "Квантовые и нейроморфные технологии"

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

магистр

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Год начала обучения

2023

(для обучающихся какого года начала обучения разработана Рабочая программа)

Нижний Новгород

1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Сканирующая зондовая микроскопия» относится к вариативной части Блока 1 «Дисциплины, модули» ООП. Является дисциплиной по выбору в третьем семестре (второй год обучения) в магистратуре.

Целями освоения дисциплины являются:

- формирование у студентов представления о физических основах зондовой микроскопии;
- формирование у студентов общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.02 «Физика».

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-2 Способен самостоятельно анализировать, не предвзято оценивать и ориентироваться в передовых теоретических концепциях и достижениях современной физики	(ПК-2) Знать: физические основы различных методов сканирующей зондовой микроскопии; теоретические основы физики взаимодействия локальных зондов различных типов (туннельный, атомно-силовой, оптический ближнепольный, магнитный, электростатический и др.) с поверхностью исследуемых материалов в различных средах (вакуум, газы, жидкости); устройство, физические принципы работы и особенности конструкции различных типов зондовых микроскопов и зондов; теорию артефактов СЗМ изображений и методы учета и исключения артефактов в процессе эксперимента и при анализе экспериментальных данных. (ПК-2) Уметь: выбирать подходящую методику, учитывать особенности методики при исследовании поверхности и свойств твердых тел, проводить исследования методом сканирующей зондовой микроскопии и правильно интерпретировать и представлять результаты эксперимента. (ПК-2) Владеть: основными методиками сканирующей зондовой микроскопии, математическим аппаратом, используемом в методах обработки и анализа экспериментальных данных в СЗМ.

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 34 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (2 часа – мероприятия промежуточной аттестации; 16 часов занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа (практические занятия), в том числе 2 часа – мероприятия текущего контроля успеваемости), 74 часа составляет самостоятельная работа обучающегося (38 часов самостоятельная работа в течение семестра, 36 часа самостоятельная работа при подготовке к промежуточной аттестации).

Содержание дисциплины (модуля)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
		из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Тема 1. Введение. Общие свойства зондовых микроскопов	6	2			2	4
Тема 2. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ)	9	2		2	4	5
Тема 3. Режимы работы СТМ	9	2		2	4	5
Тема 4. Система автоматизации СТМ	7	1		1	2	5
Тема 5. Туннельная спектроскопия	8	1		2	3	6
Тема 6. Атомно-силовая микроскопия	8	1		2	3	6
Тема 7. Магнитно-силовая микроскопия	7	1		1	2	5
Тема 8. Ближнепольная оптическая микроскопия	7	1		1	2	5
Тема 9. Пространственное разрешение зондовых микроскопов	7	1		1	2	5
Тема 10. Модификация свойств поверхности с помощью СТМ/АСМ/МСМ	9	2		2	4	5
Тема 11. Модификация свойств поверхности с помощью СБОМ	9	2		2	4	5
в т.ч.текущий контроль		2				
Промежуточная аттестация – Экзамен						54

Текущий контроль успеваемости осуществляется в виде решений и последующей проверки домашних контрольных работ, а также в рамках занятий практического и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций. Итоговый контроль осуществляется на экзамене.

4. Образовательные технологии

При изучении дисциплины используются современные образовательные технологии. Предусматривается широкое использование в учебном процессе активных и инте-

рактивных форм проведения занятий (разбор конкретных ситуаций, тренинги по решению практических задач) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) по дисциплине проходит в форме лекций и практических занятий, а также в виде коллективных и индивидуальных консультаций. На занятиях лекционного типа используются мультимедийные средства поддержки образовательного процесса, часть занятий проводятся в виде лекций с проблемным изложением материала. На занятиях практического типа разбираются решения задач различной степени сложности, проводятся обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в данной области. Студенты работают как индивидуально, так и коллективно.

Самостоятельная работа включает в себя выполнение домашних контрольных работ и теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы. Кроме того, студенты имеют возможность принимать участие в семинарах с представителями российских и зарубежных научных организаций, проводимых в Институте физики микроструктур Российской академии наук.

Формой итогового контроля знаний студентов по дисциплине является экзамен, в ходе которого оценивается уровень теоретических знаний и навыки решения практических задач.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студента – неотъемлемая часть подготовки высококвалифицированного специалиста в соответствующей области. Ее цель – формирование у студентов способностей и навыков к непрерывному самообразованию и профессиональному совершенствованию.

Самостоятельная работа студентов подразумевает проработку лекционного и дополнительного материала, решение домашних контрольных работ с последующей проверкой навыков решения задач.

Проработка лекционного материала осуществляется еженедельно после проведения аудиторных занятий в рамках часов, отведенных студентам на самостоятельную работу. Кроме того, работа с лекционным и дополнительным материалом (рекомендованной литературой, приведенной в конце данной программы) проводится в период сессии при подготовке к экзамену по дисциплине.

Выполнение домашних работ осуществляется еженедельно или раз в две недели в соответствии с графиком изучения соответствующего лекционного материала и проведения практических занятий по соответствующей тематике.

Задачи для выполнения самостоятельных контрольных работ по каждому разделу дисциплины составляются преподавателем самостоятельно при ежегодном обновлении банка тестовых заданий. Количество вариантов зависит от числа обучающихся.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

6.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Промежуточной аттестацией для дисциплины «Сканирующая зондовая микроскопия» является **экзамен**.

По итогам экзамена выставляется оценка по семибалльной шкале: оценки «Плохо» и «Неудовлетворительно» означают отсутствие аттестации, оценки «Удовлетворительно», «Хорошо», «Очень хорошо», «Отлично» и «Превосходно» выставляются при успешном прохождении аттестации.

6.2. Процедуры и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- индивидуальное собеседование (промежуточная аттестация).

Контрольные вопросы для индивидуального собеседования представлены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и навыков используются следующие процедуры и технологии:

- выполнение практических заданий (текущий контроль, промежуточная аттестация).

Примеры практических заданий для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Критериями оценивания являются полнота знаний, наличие умений и владений (навыков), перечисленных в п. 5 настоящей Рабочей программы дисциплины.

«Плохо» – обучающийся не продемонстрировал никаких знаний об основных теоретических разделах курса, не показал никаких умений и навыков выполнения практических заданий;

«Неудовлетворительно» – обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий;

«Удовлетворительно» – обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности;

«Хорошо» – обучающийся продемонстрировал связное изложение основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий;

«Очень хорошо» – обучающийся продемонстрировал связное изложение практически всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий;

«Отлично» – обучающийся продемонстрировал связное изложение всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий повышенного уровня сложности;

«Превосходно» – обучающийся продемонстрировал уровень знаний в объеме, превышающем стандартную программу подготовки, и продемонстрировал творческий подход к выполнению практических заданий повышенного уровня сложности.

6.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Теоретические вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

- 1) Сканирующие элементы зондовых микроскопов. Конструкции, принципы работы и основные характеристики.
- 2) Системы прецизионного сближения зонда и образца в зондовых микроскопах.
- 3) Виброзащита и термостабилизация зондовых микроскопов.
- 4) Методы изготовления зондов для туннельного и атомно-силового микроскопов.
- 5) Принципы работы сканирующего туннельного микроскопа. Основные режимы получения СТМ изображений рельефа поверхности.
- 6) Принципы регистрации распределения локальной работы выхода электронов с помощью туннельного микроскопа.
- 7) Организация системы обратной связи сканирующего туннельного микроскопа.
- 8) Туннельная спектроскопия. Методы снятия вольт-амперных характеристик туннельного контакта СТМ.
- 9) Принципы работы атомно-силового микроскопа. Основные режимы получения АСМ изображений рельефа поверхности.
- 10) Колебательные методики атомно-силовой микроскопии.
- 11) Организация системы обратной связи атомно-силового микроскопа.
- 12) Силовая спектроскопия свойств поверхности с помощью атомно-силового микроскопа.
- 13) Принципы работы электросилового микроскопа. Режимы измерения распределения потенциала вдоль поверхности, локальной емкости контакта зонд-поверхность.
- 14) Принципы работы магнитно-силового микроскопа. Магнитное взаимодействие зонда МСМ и образца. Методы получения МСМ контраста.
- 15) Принципы работы ближнепольного оптического микроскопа. Shear-force контроль расстояния зонд-поверхность. Основные конфигурации БОМ.
- 16) Модификация свойств поверхности с помощью СТМ/АСМ/МСМ/БОМ.

Типовые задачи для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

Задача 1

Нарисовать и описать основные типы ВАХ контактов металл-металл, металл-полупроводник, металл-сверхпроводник.

Задача 2

Рассчитайте емкость контакта зонд-поверхность, зная кривизну зонда и его высоту над поверхностью.

Задача 3

Определить распределения намагниченности по предложенным изображениям МСМ контраста образцов.

6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

1. Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 №55-ОД.

2. Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Сканирующая зондовая микроскопия»

а) основная литература:

- 1) В.Л.Миронов - Основы сканирующей зондовой микроскопии. М.: Техносфера, 2004, 143 стр.
- 2) Сканирующая зондовая микроскопия биополимеров. Под ред. И.Г.Яминского, М.: Научный мир, 1997, 88 стр.
- 3) В.К.Неволин - Основы туннельно-зондовой нанотехнологии. М.: МГИЭТ (ТУ), 1996, 91 стр.
- 4) В.С.Эдельман - Сканирующая туннельная микроскопия (обзор). // Приборы и техника эксперимента, 1989, № 5, стр. 25 - 49.

б) дополнительная литература:

- 1) В.И.Панов – Сканирующая туннельная микроскопия и спектроскопия поверхности. // УФН, 1988, т.155, № 1, стр. 155 - 158.
- 2) В.А.Быков, М.И.Лазарев, С.А.Саунин - Сканирующая зондовая микроскопия для науки и промышленности. // “Электроника: наука, технология, бизнес”., 1997, № 5, стр. 7 - 14.
- 3) А.П.Володин – Новое в сканирующей микроскопии. // Приборы и техника эксперимента, 1998, № 6, стр. 3 - 42.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

- 1) http://www.pnn.unn.ru/UserFiles/lectures/Mironov_SPM_Book.pdf В.Л.Миронов. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Учебное пособие. 2004 г.
- 2) <http://nanotube.ru/sites/default/files/publications/16-11-2012/M04> Учебное пособие. [Приборы и методы зондовой микроскопии.pdf](#) Е.Г. Дедкова, А.А.Чуприк, И.И. Бобринецкий, В. К. Неволин. Приборы и методы зондовой микроскопии. Учебное пособие. 2011 г.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории.

Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет.

Программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика.

Автор(ы)

_____ В.Л. Миронов
_____ Н.О. Кривулин

Рецензент(ы):

Зав. межфакультетской базовой кафедрой
«Физика наноструктур и наноэлектроника»,
д. ф.-м. н., профессор,
чл.-корр. РАН _____ / Красильник З.Ф. /

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ от «_____» _____ 202_ года, протокол № б/н.

Председатель
Учебно-методической комиссии
физического факультета ННГУ _____ / Перов А.А. /