

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный институт электронной техники (технический университет)»

«УТВЕРЖДАЮ»

Декан факультета ЭКТ

_____ /Путря М. Г./

«_____» _____ 201__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Сканирующая зондовая микроскопия»

Рекомендуется по всем профилям
направления подготовки «Нанотехнология»:

«Наноэлектроника», «Нанотехнологии для систем безопасности»,
«Наноинженерия», «Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества»,
«Функциональные наноматериалы для космической техники», «Нанобиотехнологии»,
«Конструкционные наноматериалы», «Композитные наноматериалы» и др.

Квалификация выпускника — магистр

Нормативный срок освоения — 1 год

Форма обучения – очная

2014 г.

Лист согласования

Рабочая программа разработана на кафедре: КФН

и утверждена на заседании кафедры _____.____.2010 года, протокол № ____

Заведующий кафедрой _____ /Горбацевич А. А./

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой: КФН

Заведующий кафедрой _____ /Горбацевич А. А./

Рабочая программа согласована с ИОУП

1. Цели и задачи дисциплины

«Сканирующая зондовая микроскопия» (СЗМ) - это новая как для Российской, так и для мировой практики дисциплина, впервые инновационно разработанная и внедренная в МИЭТ в 2008 году. Причинами возникновения данной дисциплины явилась волна интереса к нанотехнологиям, основными приборами в которых исторически явились сканирующие зондовые микроскопы, а также необходимость в глубинном понимании принципов их конструкции и работы для возможности постановки современных экспериментальных работ, часто требующих для получения новых результатов не только хорошего понимания работы микроскопов и даже не только проведения мелких доработок серийно выпускающихся микроскопов, но и конструирования модификаций этих микроскопов под нужды эксперимента.

Целью дисциплины является достижение студентами ясного понимания принципа работы конструкции сканирующих зондовых микроскопов, понимания реальности изменения ее под нужды эксперимента, а также появление у студентов веры в возможность создания такого сложного экспериментального оборудования, как сканирующие зондовые микроскопы, своими собственными руками.

Задачами дисциплины являются освоение физических принципов работы отдельных составляющих сканирующих зондовых микроскопов – туннельного и атомно-силового зонда, пьезосканера, пьезоинерциального двигателя, системы амортизации, лазерной системы слежения за зондом и других, приобретение навыков по сборке микроскопов из этих составляющих, а также приобретение опыта по включению, настройке самостоятельно собранных микроскопов, выбору рабочих параметров, получению и всестороннему анализу кадров, а также по выбору и работе в дополнительных режимах с получением данных по разнообразным физическим характеристикам поверхности образцов.

Преподавание дисциплины производится в виде практических занятий, на котором преподаватель излагает и демонстрирует физические основы и принципы работы и каждого элемента конструкции сканирующих зондовых микроскопов, и микроскопов, и алгоритмов обработки и анализа кадров, и дополнительных физических методик, а для закрепления полученных знаний в качестве умений и навыков студенты по ходу изложения материала выполняют лабораторные работы с применением учебных пособий в виде микроскопов-конструкторов путем их самостоятельной сборки в виде сканирующего туннельного, а затем и атомно-силового микроскопа. При этом студенты самостоятельно подключают собранные микроскопы к управляющему компьютеру, ставят образец, знакомятся с программой управления микроскопом, и далее самостоятельно варьируют рабочие параметры микроскопа с целью получения отчетливых кадров образца. Далее студенты овладевают практически всеми известными видами обработки и анализа изображений, а также практически всеми известными режимами работы сканирующих зондовых микроскопов. Получение качественных кадров в разных режимах и в сканирующем туннельном микроскопе, и в сканирующем атомно-силовом микроскопе до и после обработки, являются оценочными требованиями к освоению данной учебной дисциплины.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Сканирующая зондовая микроскопия» относится к вариативной части профессионального цикла. Для её успешного освоения требуются владение компетенциями бакалавра по направлению 210100 «Электроника и наноэлектроника».

Знания, умения и навыки, полученные при изучении курса, являются опорными для прохождения научно-исследовательской практики, написания выпускной квалификационной работы магистра и изучения дисциплины «Актуальные проблемы современной электроники и наноэлектроники» (ПРО-03).

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

1. Способность понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения (ПК-3)
2. Способность к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов (в соответствии с целями ООП магистратуры) (ПК-5)
3. Готовность оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы (ПК-6)
4. Способность анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников (ПК-7)
5. Готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способность обосновано выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач (ПК-16)
6. Готовность осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками измерений в реальном времени (ПК-18)
7. Способность к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов (ПК-19)
8. Способностью делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения (ПК-20)

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

- физические принципы работы всех составляющих СЗМ, в том числе сканеров, зондов, двигателей подвода, систем амортизации и виброзащиты, лазерной системы слежения за зондом и систем управления
- физические принципы работы и конструктивные схемы СЗМ и их отдельных узлов
- экспериментальные приёмы получения атомного разрешения в СЗМ
- математические основы методов обработки и анализа СЗМ - кадров
- физические принципы получения дополнительной к рельефу информации о физических характеристиках образцов

Уметь

- собирать сканирующий туннельный и атомно-силовой микроскопы из их компонент
- настраивать рабочие параметры и получать кадры рельефа и соответствующие ему карты физических характеристик образцов

Владеть

- практическими навыками сборки и настройки СЗМ
- практическими навыками использования СЗМ для проведения физических экспериментов

5.3. Практические занятия (семинары)

№ модуля дисциплины	№ п/п	Наименование и/или краткое содержание практических занятий	Трудоёмкость (часов)
1. Конструирование сканирующего зондового микроскопа	1	История открытия и развития конструкций сканирующих зондовых микроскопов. Электронная микроскопия, профилометрия и автоэмиссионный микроскоп Яна 1971г. как предпосылки открытия; история открытия и принципиальные элементы конструкции сканирующего туннельного микроскопа 1981г.; разработка нескольких видов атомно-силовых микроскопов и приход их конструкции к оптимальной 1985г.; Нобелевская премия 1986г.; возникновение международной конференции по сканирующей зондовой микроскопии 1990г.; возникновение первых разработок сканирующих туннельных микроскопов в России и отличие их конструкций – МГУ, МИЭТ, Институт аналитического приборостроения РАН, НИИ Дельта, ИОФАН, Институт физических проблем РАН; возникновение первого эшелона фирм по производству сканирующих зондовых микроскопов и отличие их конструкций – Digital Instruments, Park Scientific, Angstrom Technology, Spiral, Besocke, Omicron, Topometrix; история дальнейшего развития конструкций микроскопов как вида борьбы за сферы и рынки приложения; возникновение международных и региональных лидеров-фирм по производству микроскопов; остановка в развитии конструкций и сокращение фирм-производителей после схода мировой 1995г и региональных волн и стабилизации интереса по нанотехнологиям.	4
	2	Сканирующий туннельный микроскоп. Принципиальная схема конструкции сканирующего туннельного микроскопа; зависимость туннельного тока от зазора, напряжения и среды, расчет частоты основного механического резонанса конструкции; амортизация и повышение частоты основного резонанса как два пути повышения разрешения микроскопа; обратный пьезоэффект, свойства, принципы поляризации и работы пьезоматериалов; конструкция и принцип работы пьезосканера; конструкция и принцип работы пьезоинерциального двигателя подвода зонда к образцу, атомарное строение волооченной платиновой проволоки и принцип изготовления из нее зондов остротой 1нм методом отрезания; основные параметры сканирования: туннельное напряжение, ток поддержания, поле сканирования, шаг, скорость, фильтрация; получение кадров	2
	3	Получение атомарного разрешения в сканирующем туннельном микроскопе. Особенности получения атомарного разрешения в сканирующем туннельном микроскопе, скол и закрепление образца пиролитического графита, наблюдение графеновых ступенек и двухмерных периодических волн электронной плотности; установка соответствия наблюдаемых волн электронной плотности месторасположению атомов в структуре пиролитического графита с учетом верхнего и нижнего слоя атомов	2
	4	Сканирующий атомно-силовой микроскоп. Принципиальная схема конструкции сканирующего атомно-силового микроскопа и отличие ее от конструкции туннельного микроскопа; отличие пьезосканера для атомно-силового микроскопа от пьезосканера для туннельного микроскопа; конструкция, поэтапность технологии изготовления и виды кантилеверов – стандартных зондов для сканирующих атомно-силовых микроскопов; первичная установка и дальнейшая коррекция параметров сканирования, отличие значений параметров для атомно-силового и туннельного микроскопов, получение кадров	2
	5	Получение атомарного разрешения в атомно-силовом микроскопе. Особенности получения атомного разрешения в атомно-силовом микроскопе, скол и закрепление образца слюды, наблюдение атомарных ступенек и двухмерного периодического рельефа на образце слюды, установка соответствия наблюдаемого рельефа и месторасположения атомов в слюде	2
2. Экспериментальные методики сканирующей зондовой микроскопии	6	Методы обработки и анализа кадров сканирующей зондовой микроскопии. Информация о высоте как отличительная новизна кадров сканирующей зондовой микроскопии; методы трехмерного представления кадров; класс процентильных и медианных фильтраций; класс матричных фильтраций, с усреднением, гауссовым преобразованием и инверсией; специальные обработки с устранением наклонов и формы поверхности подложки N-ого порядка, выделением высокочастотного или низкочастотного спектра пространственных частот; сечения и анализ шероховатости трехмерного кадра, параметры Ra, Rz, Rq, Sm, S, lo; корреляционный анализ, функция корреля-	2

№ модуля дисциплины	№ п/п	Наименование и/или краткое содержание практических занятий	Трудоёмкость (часов)
		ции двух трехмерных объектов, инвариантность к высоте нахождения объекта на рельефе, матрица корреляционных коэффициентов как метод распознавания образов; Фурье – преобразование и анализ, фильтры Баттерворта N-ого порядка по Фурье-образу, пространственный и угловой Фурье - спектры, восстановление периодических структур типа атомных решеток, обратное Фурье-преобразование; фрактальный анализ, фрактальная размерность трехмерных объектов, развитость рельефа в выделенной области размерностей; морфологический анализ, последовательность методики выделения объектов, медиана, среднее, мода, отклонение, асимметрия, эксцесс, корреляционные функции между различными характеристиками объектов, статистика Пуассона и Гаусса, дифференциальная и интегральная кривые гранулометрического анализа.	
	7	Методики получения физических характеристик образца в сканирующих зондовых микроскопах. Класс методик для сканирующего туннельного микроскопа: методика сигнала ошибки, сканирующая туннельная спектроскопия как метод изучения распределения примесей методика изучения спинов и магнитных доменов при накачке туннельного промежутка монохроматическим светом взаимоперпендикулярных поляризации; электролюминесцентная методика съема генерации фотонов квантовыми точками и объектами при сканировании туннельным током; Класс методик для контактного атомно-силового микроскопа: методика сигнала ошибки, получение карт электропроводности, электрических потенциалов, сил трения, сил адгезии, упругости, вязкости, магнитных полей; распределения температур и теплопроводности, акустических свойств, пьезочувствительности и магнитострикции на поверхности образца; Класс методик для вибрационного атомно-силового микроскопа: методика сигнала ошибки, методика фазового контраста, получение карт магнитных сил, электрических потенциалов, распределения емкостей и толщины диэлектрических пленок, метод Кельвина	2

5.4. Лабораторные занятия

№ модуля дисциплины	№ п/п	Наименование и/или краткое содержание лабораторных работ	Трудоёмкость (часов)
1. Конструирование сканирующего зондового микроскопа	1	Сборка и запуск сканирующего туннельного микроскопа. сборка системы амортизации; монтаж пьезоинерциального двигателя; монтаж пьезосканера сканирующего туннельного микроскопа; установка столика образца; изготовление и установка зонда; монтаж образца; подключение электронного блока и управляющего компьютера; включение микроскопа; проверка работы системы подвода; первичное назначение параметров сканирования; подвод зонда к образцу; получение кадров; регулировка параметров в процессе сканирования для получения четкости кадра	4
	2	Сборка и запуск контактного атомно-силового микроскопа. монтаж пьезосканера атомно-силового микроскопа; установка кантилевера; установка лазерной системы слежения за отгибом кантилевера; включение микроскопа; юстировка лазера на выбранную балку кантилевера; юстировка отражения лазерного луча от кантилевера на четырехквadrантный диод; первичная установка параметров сканирования; подвод зонда к образцу; получение кадров; регулировка параметров в процессе сканирования для получения четкости кадра	4
2. Экспериментальные методики сканирующей зондовой микроскопии	3	Методы обработки и анализа кадров сканирующей зондовой микроскопии. Выполнение методик обработки и анализа кадров: методы трехмерного представления кадров; класс процентильных и медианных фильтраций; класс матричных фильтраций, с усреднением, гауссовым преобразованием и инверсией; специальные обработки с устранением наклонов и формы поверхности подложки N-ого порядка, выделением высокочастотного или низкочастотного спектра пространственных частот; сечения и анализ шероховатости трехмерного кадра, параметры Ra, Rz, Rq, Sm, S, lo; корреляционный анализ, функция корреляции двух трехмерных объектов, инвариантность к высоте нахождения объекта на рельефе, матрица корреляционных коэффициентов как метод распознавания образов; Фурье – преобразование и анализ, фильтры Баттерворта N-ого порядка по Фурье-образу, простран-	4

		ственный и угловой Фурье - спектры, восстановление периодических структур типа атомных решеток, обратное Фурье-преобразование; фрактальный анализ, фрактальная размерность трехмерных объектов, развитость рельефа в выделенной области размерностей; морфологический анализ, последовательность методики выделения объектов, медиана, среднее, мода, отклонение, асимметрия, эксцесс, корреляционные функции между различными характеристиками объектов, статистика Пуассона и Гаусса, дифференциальная и интегральная кривые гранулометрического анализа.	
	4	Методики получения физических характеристик образца в сканирующих зондовых микроскопах: Выполнение методик для сканирующего туннельного микроскопа: методика сигнала ошибки, сканирующая туннельная спектроскопия как метод изучения распределения примесей; Выполнение методик для контактного атомно-силового микроскопа: методика сигнала ошибки; получение карт электропроводности, упругости, вязкости и адгезии; пьезочувствительности и магнитострикции на поверхности образца.	4

6. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	№ п/п	Перечень видов СРС	Трудоёмкость (часов)
1, 2	1	Работа с конспектом теоретического материала семинарских занятий. Чтение и разбор рекомендованной литературы.	36
	2	Подготовка к выполнению лабораторной работы: изучение схемы экспериментальной установки, изучение методики выполнения работы	4
	3	Обработка экспериментальных результатов лабораторных работ и подготовка отчета.	4

7. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Выполнение курсовых работ не предусмотрено

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература:

1. Б.А.Логинов. Сканирующая туннельная и атомно-силовая микроскопия: учебно-методическое пособие. – М.: МИФИ, 2008, 224с.
2. В.Л.Миронов. Основы сканирующей зондовой микроскопии. - Учебное пособие для студентов старших курсов высших учебных заведений. – Н.Новг., ИФМ РАН, 2004, 114с.
3. Е.Л.Вольф. Принципы электронной туннельной спектроскопии. Пер. с англ. М. А. Белоголовского и др.; Под ред. В. М. Свистунова. - Киев : Наукова думка, 1990, 454с.
4. К.Оура, В.Г.Лившиц, А.А.Саранин, А.В.Зотов, М.Катаяма. Введение в физику поверхности. – М. Наука, 2006, 460с.
5. Б.В.Шульгин, И.Г.Григоров, Б.А.Логинов. Методы и средства микроскопии: методические указания. Екатеринбург: ГОУ ВПО Уральский государственный технический университет - УПИ», 2005, 188с.

Программное обеспечение

1. Программное обеспечение для управления сканирующим зондовым микроскопом «Scan Master» (разработка МИЭТ).

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Портал ЭМИРС <http://mocnit.miee.ru/orocs-miet/scripts/index.pl>
2. Статьи из российских научных журналов. Адрес библиотеки: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
3. Реферативная база CSA (Cambridge Scientific Abstracts). www.csa.com
4. Статьи из журналов американского физического общества. <http://prola.aps.org>
5. Статьи из журналов издательства Nature Publishing Group. <http://www.nature.com>

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебное пособие «Сканирующий мульти-микроскоп СММ-2000 – конструктор» (производитель – ОАО «Завод ПРОТОН-МИЭТ») в количестве 15 шт., каждый в комплектации с блоком управления, управляющим компьютером, программами управления в разных режимах работы микроскопа, а также программой обработки и анализа.

10. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины. Описание активных и интерактивных форм проведения занятий и инновационных технологий обучения

10.1. Позиционирование модулей

Дисциплина представлена двумя модулями, изучаемыми последовательно. Трудоемкость изучения каждого модуля составляет 1 ЗЕ (36 часов)

10.2. Календарный график освоения дисциплины (схема реализации модулей при изучении дисциплины, организация изучения дисциплин)

Недели	Виды и содержание учебных занятий				
	№ лекции	№ практич. занятия	№ лабораторной работы	№ домашнего задания, Сроки выдачи и Сдачи	Текущая аттестация
1	2	3	4	5	6
1 неделя		1		1 (1-5 сентября)	Контроль посещаемости занятия.
2 неделя		1		2 (8-12 сентября)	Контроль посещаемости занятия.
3 неделя		2		3 (15-19 сентября)	Контроль посещаемости занятия.
4 неделя			1	4 (22-26 сентября)	Оценка индивидуальной работы в лаборатории
5 неделя			1	5 (29 сентября – 3 октября)	Защита лабораторной работы.
6 неделя		3		6 (6-10 октября)	Контроль посещаемости занятия.

Недели	Виды и содержание учебных занятий				
	№ лекции	№ практич. занятия	№ лабора- торной рабо- ты	№ домашнего задания, Сроки выдачи и Сдачи	Текущая аттестация
1	2	3	4	5	6
7 неделя		4		7 (13-17 октября)	Контроль посещаемости занятия.
8 неделя			2	8 (20-24 октября)	Оценка индивидуальной работы в лаборатории
9 неделя			2	9 (27-30 октября)	Защита лабораторной работы.
10 неделя		5		10 (3-7 ноября)	Контроль посещаемости занятия.
11 неделя		6		11 (10-14 ноября)	Контроль посещаемости занятия.
12 неделя			3	12 (17-21 ноября)	Оценка индивидуальной работы в лаборатории
13 неделя			3	13 (24-28 ноября)	Защита лабораторной работы.
14 неделя		7		14 (1-5 декабря)	Контроль посещаемости занятия.
15 неделя			4	15 (8-12 декабря)	Оценка индивидуальной работы в лаборатории
16 неделя			4	16 (15-19 декабря)	Защита лабораторной работы.

При заполнении граф 2 – 5 использовать содержание пунктов 5.2, 5.3, 5.4, и 6 рабочей программы.

10.3. Использование активных и интерактивных форм проведения занятий и инновационных технологий обучения

№ моду- ля дис- цип- лины	виды заня- тий	виды активных и интерактивных форм проведения занятий и ин- новационных технологий обучения									коды форми- руемых ком- петенций	
		ИВСС	проблемные лекции	лекция-пресс- конференция	компьютер- ные симуля- ции	семинары в диалоговом режиме	деловые и ро- левые игры	разбор кон- кретных ситу- аций (кейсов)	групповые дискуссии	групповые проекты		и иные техно- логии
1, 2	Лабораторные работы		+	+		+		+	+			ПК-10, ПК-18, ПК-19

10.4. Оценочные средства (в т.ч. и инновационные) сформированности общекультурных и профессиональных компетенций

Контрольные мероприятия по дисциплине нацелены на проверку базовых знаний и умений, формирующих отмеченные профессиональные и общекультурные компетенции. В состав оценочных средств входят:

1. Результат проведения и защиты лабораторной работы.

Критерии оценки знаний студентов

Оценки «отлично» заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «отлично» выставляется студентам, усвоившим взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявившим творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.

Оценки «хорошо» заслуживает студент, обнаруживший полные знания учебно-программного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе. Как правило, оценка «хорошо» выставляется студентам, показавшим систематический характер знаний по дисциплине и способным к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.

Оценки «удовлетворительно» заслуживает студент, обнаруживший знание учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работе по профессии, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «удовлетворительно» выставляется студентам, допустившим погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладающих необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, обнаружившему существенные пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий.

Разработчики учебной программы:

начальник научно-исследовательской лаборатории атомной модификации и анализа поверхности полупроводников МИЭТ, руководитель направления «Точные приборы» ОАО «Завод ПРОТОН-МИЭТ»

/Логинов Борис Альбертович/