

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт
электронной техники»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УР

И.Г. Игнатова
23 февраля 2022



ПРОГРАММА ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

«Основы исследований наноразмерных элементов ИС методами сканирующей
зондовой микроскопии»

Москва – 2022

1. Цель реализации программы

Цель программы – повышение уровня квалификации и формирование компетенций специалистов в области сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ), а также формирование навыков использования сканирующего зондового микроскопа для исследования свойств поверхности наноразмерных элементов ИС.

Программа посвящена изучению основ работы сканирующего зондового микроскопа, особенностям исследования поверхности образцов в различных режимах СЗМ и точного определения параметров исследуемых объектов.

Программа позволяет получить основы и перспективы применения зондовых нанотехнологий при исследовании структур элементов нанoeлектроники.

2. Характеристика профессиональной деятельности и (или) квалификации

Область профессиональной деятельности: 40 Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности.

Вид экономической деятельности: Деятельность в области информации и связи.

Угруппированная группа специальностей: 11.00.00 Электроника, радиотехника и системы связи.

Квалификация: без квалификации.

3. Требования к результатам обучения

Формируемая профессиональная компетенция – способен к организации и проведению экспериментальных исследований наноразмерных элементов ИС с применением СЗМ.

В результате освоения данной программы слушатель должен:

знать:

- физические принципы, лежащие в основе СЗМ;
- основные методы исследования поверхности с помощью СЗМ;
- особенности выбора кантилевера для исследования образцов;

уметь:

- пользоваться программными средствами сканирования и обработки результатов;
- калибровать сканирующий зондовый микроскоп;
- обоснованно выбирать метод и параметры сканирования нанообъектов;
- определять физические характеристики наноразмерных элементов;

иметь практический опыт:

- сканирования наноразмерных элементов ИС контактным и полуконтактным методами сканирующего зондового микроскопа;
- определения геометрических и физических параметров исследуемого объекта.

4. Содержание программы

Учебный план
программы повышения квалификации
«Основы исследований наноразмерных элементов ИС методами сканирующей зондовой микроскопии»

Категория слушателей – студенты бакалавриата, обучающиеся по соответствующему профилю

Срок обучения – 16 часов

Форма обучения – очно-заочная, с ЭО.

Лекции проводятся дистанционно с ЭО, лабораторные работы – в очной форме.

№ п/п	Наименование модулей	Всего, час	В том числе			Образова- тельные технологии, в том числе ЭО и (или) ДОТ
			Аудиторных		Самост- оятель- ная работа	
			Лекции	Практ. и лаборат. занятия		
1.	Принципы работы и составляющие части сканирующих зондовых микроскопов	4	4	-	-	ЭО
2.	Программные средства сканирования и обработки результатов	3	1	1	1	ЭО
3.	Методы исследования нанобъектов СЗМ	9	4	5	-	ЭО
	Всего	16	9	6	1	
Итоговая аттестация		Зачет				

Учебно-тематический план
программы повышения квалификации
«Основы исследований наноразмерных элементов ИС методами сканирующей зондовой микроскопии»

№ п/п	Наименование модулей	Всего, час	В том числе			Образова- тельные технологии, в том числе ЭО и (или) ДОТ
			Аудиторных		Самос- тояте- льная работ- а	
			Лекции	Практ. и лаборат. занятия		
1.	Принципы работы и составляющие части сканирующих зондовых микроскопов	4	4	-	-	ЭО
1.1	Классы сканирующих зондовых микроскопов	2	2	-	-	ЭО
1.2	Виды и подготовка образцов для сканирования	2	2	-	-	ЭО
2	Программные средства сканирования и обработки результатов	3	1	1	1	ЭО
3	Методы исследования нанообъектов СЗМ	9	4	5	-	ЭО
3.1	Сканирующая туннельная микроскопия	1	1	-	-	ЭО
3.2	Зондовые датчики для исследований параметров наноразмерных элементов ИС	2	1	1	-	ЭО
3.3	Атомно-силовая микроскопия наноразмерных элементов ИС	2	1	1	-	ЭО
3.4	Измерения геометрических и физических параметров исследуемого объекта.	1	-	1	-	ЭО
3.5	Электросиловая	2	1	1	-	ЭО

	микроскопия					
3.6	Магнитно-силовая микроскопия	1	-	1		ЭО
	Всего	16	9	6	1	
Итоговая аттестация		Зачет				

Календарный учебный график

Календарный учебный график составляется в форме расписания занятий при наборе группы и прилагается к программе повышения квалификации.

**Учебная программа
повышения квалификации
«Основы исследований наноразмерных элементов ИС методами сканирующей
зондовой микроскопии»**

Раздел 1. Принципы работы и составляющие части сканирующих зондовых микроскопов (4 часа).

Тема 1.1. Классы сканирующих зондовых микроскопов.

Тема 1.2. Виды и подготовка образцов для сканирования.

Перечень лекций

Номер темы	Краткое содержание	Кол-во часов
1.1	Виды СЗМ. Особенности строения микроскопов. Сканер. Измерительная головка. Расходные материалы.	2
1.2	Какие образцы подходят для сканирования на СЗМ. Как правильно подготовить исследуемый образец.	2

Раздел 2. Программные средства сканирования и обработки результатов (3 часа).

Перечень лекций

Номер темы	Краткое содержание	Кол-во часов
2	Описание программы Nova. Программное средство обработки изображений Image Analysis.	1

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование лабораторного занятия	Кол-во часов
2	Знакомство с программой Nova. Изучение настроек и параметров программы. Обработка полученных изображений в Image Analysis.	1

Раздел 3. Методы исследования нанообъектов СЗМ (9 часов).

Тема 3.1. Сканирующая туннельная микроскопия.

Перечень лекций

Номер темы	Краткое содержание	Кол-во часов
3.1	Принцип работы сканирующего туннельного микроскопа.	1

Тема 3.2. Зондовые датчики для исследований параметров наноразмерных элементов ИС

Перечень лекций

Номер темы	Краткое содержание	Кол-во часов
3.2	Виды и свойства зондовых датчиков. Какие зонды подходят для сканирования элементов ИС.	1

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование лабораторного занятия	Кол-во часов
3.2	Свойства зондовых датчиков. Особенности настройки лазерного луча. Определение резонансной частоты. Расчет жесткости и добротности кантилевера.	1

Тема 3.3. Атомно-силовая микроскопия наноразмерных элементов ИС

Перечень лекций

Номер темы	Краткое содержание	Кол-во часов
3.3	Изучение динамического режима измерений в атомно-силовой микроскопии. Особенности и преимущества сканирования.	1

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование лабораторного занятия	Кол-во часов
3.3	Изучение особенностей проведения измерений в полуконтактном режиме АСМ. Калибровка прибора. Сканирование калибровочной решетки. Исследование «эффекта конволюции» изображения нанообъектов в атомно-силовой микроскопии.	1

Тема 3.4. Измерения геометрических и физических параметров исследуемого объекта.

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование лабораторного занятия	Кол-во часов
3.4	Определение радиуса кривизны кантилевера. Измерение реальных параметров исследуемого объекта.	1

Тема 3.5. Электросиловая микроскопия.

Перечень лекций

Номер темы	Краткое содержание	Кол-во часов
3.5	Электросиловая микроскопия. Нанолитография на основе локального зондового окисления.	1

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование лабораторного занятия	Кол-во часов
3.5	Изучение режима электропроводящей микроскопии. Изучение ВАХ объекта в точке. Получение картины растекания тока по участку ИС.	1

Тема 3.6. Магнитно-силовая микроскопия.

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование лабораторного занятия	Кол-во часов
3.6	Освоение методики магнитно- силовой микроскопии и особенностей измерений магнитных наноструктур.	1

5. Материально-технические условия реализации программы

Наименование специализированных аудиторий кабинетов, лабораторий	Вид занятия	Наименование оборудования, программного обеспечения
Рабочее место слушателя и преподавателя	Лекции	Компьютер с выходом в интернет, zoom
Лаборатория СЗМ	Лабораторные работы	Сканирующий зондовый микроскоп Р-47, компьютер с программой работы Nova, зондовые датчики с разными свойствами.

6. Учебно-методическое обеспечение программы

1. Неволин В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике // М.: Техносфера. – 2006. – 160с.
2. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии// Мир. - 2004. 114с.
3. В. В. Даньшина, Е. А. Рогачев. Исследование материалов методом зондовой микроскопии в нанобиотехнологии // Учебное пособие / Изд-во ОмГТУ. - 2019. – 104с.
4. А.А. Голишников, С.А. Поломошнов, И.В.Сагунова, В.И. Шевяков. Технологические процессы наноэлектроники // Лабораторный практикум / Под редакцией Чаплыгина – М.:МИЭТ. - 2016.- 192с.

Интернет-порталы:

1. Сайт компания «НТ-МДТ»: <http://www.ntmdt.ru>
2. Портал «Нанометр»: <http://www.nanometer.ru>
3. Центр перспективных технологий: <http://www.nanoscopy.net>
4. Объединенная группа МГУ «Сканирующая зондовая микроскопия»: <http://www.spm.genebee.msu.ru>
5. Российское общество сканирующей зондовой микроскопии и нанотехнологий: <http://www.nanoworld.org>

7. Оценка качества освоения программы

Итоговая аттестация проводится в форме зачета. Слушатель считается аттестованным и получает зачет по программе, если получен правильный ответ на один вопрос к зачету и выполнены все лабораторные работы. Список вопросов к зачету и критерии оценки лабораторной работы приведены далее.

Список вопросов к зачету:

1. Какие методики работы СЗМ наиболее распространены?
2. В чём заключается суть полуконтактной методики?
3. Какие виды и особенности кантилеверов вы знаете?
4. Что такое «рабочая точка» кантилевера?
5. Какие образцы можно сканировать с помощью СЗМ?
6. Что представляет собой сканирующая зондовая микроскопия?
7. Какие конструктивные элементы характеризуют кантилевер?
8. Что такое «эффект конволюции» изображения?
9. Какие способы повышения разрешающей способности АСМ вы знаете?
10. Какое проводящее покрытие для зонда предпочтительнее?
11. В чём состоит суть метода СЭПМ?

12. Какие объекты можно исследовать с помощью методики СЭПМ?
13. Какие основные факторы влияют на качество разрешения МСМ изображения?
14. Как выбирают вид магнитного покрытия кантилевера?
15. Чем отличается однопроходная методика от двухпроходной?

Критерии оценки лабораторных работ приведены далее. Работа считается сданной, если набрано не менее трех баллов.

	Критерии оценки лабораторной работы	Балл
1	Оформлена краткая теоретическая часть	1
2	Осуществлено сканирование нанообъекта	1
3	Успешно выполнена обработка полученного изображения и измерены требуемые параметры	1
4	Оформлен отчет о работе	1
5	Получены ответы на контрольные вопросы к работе	1

8. Составители программы

к.т.н., доцент каф. ИЭМС



И.В. Сагунова

Согласовано:

Директор ДРОП



Н.Ю. Соколова

Д.т.н, профессор каф. ИЭМС



Т.Ю. Крупкина