

Приложение 5.12 Дополнительная образовательная программа «Лабораторная работа с использованием комплекса научно-исследовательского оборудования»

федеральное государственное автономное образовательное

учреждение высшего образования

«Национальный исследовательский университет

«Московский институт электронной техники»



“УТВЕРЖДАЮ”

Проректор по научной работе

Гаврилов С.А.

Печать

“29” июля 2016 г.

Программа дополнительного образования «Лабораторная работа с использованием комплекса научно- исследовательского оборудования»

Направленность: техническая

Возраст обучающихся – 6 - 11 классы

Срок реализации программы – 2
академических часа

Разработчики:

Козьмин А.М., Жораев Т. Ю.

Москва 2016

Пояснительная записка

Программа реализуется в рамках **технической** направленности.

Принцип работы и основы исследования образцов микроэлектронных изделий с использованием комплекса научно-исследовательского оборудования, состоящего из двух исследовательских микроскопов с наноразмерным разрешением.

Актуальность и педагогическая целесообразность.

Умение проводить исследования с микроэлектронными структурами является неотъемлемым для современного инженера-исследователя. Устройства электроники становятся всё более интегрированными, так, печатные платы заменяются 3D-сборками, где на кремниевой пластине размещаются такие же кристаллы с интегральными схемами с плотностью тысяч выводов на квадратный сантиметр. Такая плотность ведёт к коренным изменениям в разработке, методах проектирования и, в особенности, анализа таких электронных узлов. Появляются новые элементы, такие как отверстия сквозь кремниевую пластину, многослойные структуры с металлическими медными соединениями диаметром на порядок меньше волоса. Все эти компоненты общей схемы невозможно исследовать классическими методами или провести контроль работоспособности, надёжности, устойчивости к внешним воздействиям. Таким образом, умение подготавливать образец для исследований на микроскопическом уровне, проведение эксперимента на сложном автоматизированном и роботизированном оборудовании представляет особый интерес, так как это связано с новыми способами реализации электронных устройств и систем и требует ознакомления.

Проведение программы дополнительного образования вводного уровня в форме лабораторной работы осуществляется в научно-исследовательской лаборатории МИЭТ.

Научно-исследовательская лаборатория «Исследование изделий нано- и микросистемной техники» входит в состав НТЦ НМСТ Центра коллективного пользования «МСТ и ЭКБ». Лаборатория оснащена новейшим парком научно-исследовательского оборудования, позволяющим исследовать широкий спектр специализированных образцов – начиная от порошкообразных, заканчивая высокотехнологичными наноструктурами, создаваемыми на передовом крае современной науки. В лаборатории НИЛ ИИ работают 14 сотрудников. Среди них выпускники МИЭТ, в том числе 5 кандидатов наук, 4 аспиранта. Также в организации проходят практику студенты. Работа коллектива строится на принципах высокого профессионализма, ответственности, открытости к сотрудничеству и тяге к познанию.

Для проведения лабораторных работ предоставляется уникальный по мировым стандартам комплекс научно-исследовательского оборудования состоящий из двух исследовательских микроскопов с наноразмерным разрешением

Цель – исследование интегральных микроскопических структур с использованием комплекс научно-исследовательского оборудования растрового электронного микроскопа FEI Quanta 3D и зондового микроскопа AIST SmartSPM™ 1000.

Задачи:

Обучающие:

– Ознакомиться с инженерной профессией исследователя в области микроэлектроники.

Приложение 5.12 Дополнительная образовательная программа «Лабораторная работа с использованием комплекса научно-исследовательского оборудования»

- Ознакомиться с двумя альтернативными способами визуализации микроструктур для проведения исследований
- Ознакомиться с изображениями микроструктур при многократном увеличении
- Ознакомиться с подходами к анализу результатов исследований микроструктур

Воспитательные:

- Выработка аккуратности и точности при проведении всех операций исследовательского процесса

Возраст детей 12-17 лет.

Количество детей в группе 3 человека.

Формы и режим занятий

Лабораторная работа длится 2 академических часа

Во время занятий предусмотрен перерыв 15 минут (каждый час) на отдых, физкультминутки, проветривание лаборатории.

Сроки реализации программы: Программа рассчитана на 2 академических часов

Планируемые результаты

По итогам реализации программы обучающиеся будут:

Знать:

- Что такое электронный и зондовый микроскопы и для чего они предназначены;
- Какие основные характеристики электронного микроскопа;
- Какие основные характеристики зондового микроскопа;
- В чем разница между зондовым и электронным микроскопами
- Какие материалы исследуются;
- Структура и устройство электронного микроскопа;
- Каким образом осуществляется подготовка к исследованиям.

Уметь:

- Подготавливать образец к испытаниям;
- Размещать образец в электронном микроскопе;
- Работать с основным меню программы исследователя;
- Оформлять результат.

Формы контроля и подведения итогов

В конце каждой темы проводится проверка знаний в форме короткого зачета, позволяющего выявить усвоение материала обучающимися.

Вопросы, которые возникают у обучающихся в процессе обучения, выносятся на общее обсуждение также в диалоговой форме разбора материала.

В качестве проверки используются различные формы подведения итогов: проведение внутренних соревнований между обучающимися учебных групп; участие в окружных, городских и международных соревнованиях по робототехнике.

УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

№	Название раздела,	Количество академических часов	Формы
---	-------------------	--------------------------------	-------

Приложение 5.12 Дополнительная образовательная программа «Лабораторная работа с использованием комплекса научно-исследовательского оборудования»

п/п	темы	Всего	Теоретических	Практических	аттестации (контроля) по разделам
1	Подготовка образцов к исследованиям	0,3	0,1	02	Образцы подготовлены
2	Проведение исследований с использованием растрового микроскопа	0,6	0,1	0,5	Получены изображения образцов
3	Проведение исследований с использованием зондового микроскопа	0,6	0,1	0,5	Получены изображения образцов
4	Анализ результатов исследования образцов	0,5	0,4	0,1	Произведено сравнение результатов исследований двумя способами

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНА.

Тема 1. Подготовка образца.

Теоретическая часть.

Даются общее представление о микроскопе. Что такое электронный микроскоп. Какие его основные детали. Какие параметры используются. Единицы измерения. Геометрические представления и зависимости. Особенности работы оборудования. Так, например, в приборе предусмотрена возможность препарирования образцов и модификации их поверхности с помощью сфокусированного ионного пучка. Попадая на поверхность образца, ионы, взаимодействия с атомами материала образца исследований, выбивают их из кристаллической решётки, тем самым разрушая поверхность на атомарном уровне. Таким образом, можно изучить находящиеся под поверхностью тонкие структуры и тонкие слои, скрытые от глаз в обычном виде. Необходимо понимать назначение параметров, которые формирует аппаратура микроскопа для исследователя.

Общие характеристики растрового микроскопа:

- ускоряющее напряжение, измеряется в вольтах – мощность электронного пучка, варьируется от 200 вольт до 30 киловольт.
- кратность увеличения – во сколько раз крупнее мы видим участок образца по сравнению с человеческим глазом.
- угол наклона образца – необходим для улучшения качества изображения образца.
- шкала измерения – масштаб, говорящий о размерах элементов на поверхности образца.

Общие характеристики для зондового микроскопа

- рабочая область сканера 100 мкм

Приложение 5.12 Дополнительная образовательная программа «Лабораторная работа с использованием комплекса научно-исследовательского оборудования»

- резонансная частота сканера
- лазер для считывания показаний со сканера
- позиционирование образца
- нагрев/охлаждение образца

Практическая часть.

Осуществляется демонстрация подготовки образца к исследованиям:

- прикрепить углеродный скотч на предметный столик;
- при необходимости производится специализированная очистка поверхности образца;

- устанавливается образец на столик, проверяется надёжность крепления.
- устанавливается предметный столик в камеру для образцов.

Проведение измерений.

После того, как был откачан вакуум в камере исследования образцов и его значение стало не менее $5 \cdot 10^{-2}$ Па, включается электронный луч растрового микроскопа для визуализации поверхности образца. Формируясь из источника, находящегося в электронной колонне (самая верхняя часть установки FEI Quanta 3D), проходя через систему магнитных линз, электронный пучок сталкивается с образцом, часть электронов поглощается образцом, а часть, отражаясь, попадает на детектор электронов. Сканирование образца происходит по развёртке, линия за линией формируется изображение, в виде контрастного чёрно-белого рисунка появляясь на экране управляющего компьютера.

Тема 2. Проведение исследований с использованием растрового микроскопа.

Теоретическая часть.

Установка РЭМ FEI Quanta 3D. Аналитическая установка «Растровый электронный микроскоп FEI Quanta 3D» предназначена для исследования структуры и морфологии поверхности широкого спектра образцов с помощью высокоэнергетичного электронного пучка и модификации образцов с помощью сфокусированного ионного пучка. Установка работает в режиме высокого вакуума и позволяет различать объекты на поверхности образцов до единиц нанометров в диаметре. Минимальное увеличение 33х, максимальное – 200000х.

Установка AIST SmartSPM™ 1000 представляет собой зондовый микроскоп для анализа структуры поверхности образца с использованием резонирующей пластины, на одном из концов которой располагается специальным образом заточенный пирамидальной формы зонд с остриём, размеры которого являются соизмеримыми с размерами нескольких межатомных расстояний материала зонда.

Практическая часть.

При настройке прибора РЭМ FEI Quanta 3D к работе применяются следующие шаги:

- включение прибора и проверка работоспособности его основных узлов и компонентов;
- установка образца в вакуумную камеру;
- откачка атмосферы из камеры, стабилизация давления в камере;

Приложение 5.12 Дополнительная образовательная программа «Лабораторная работа с использованием комплекса научно-исследовательского оборудования»

- включение электронного пучка;
- исследование образца, обработка и сохранение полученных результатов.
- развакуумирование камеры и изъятие образца.

Подготовка образца к исследованиям на РЭМ.

В отличие от лучей видимого света, применяемых в оптических микроскопах, электронный пучок, соприкасаясь с образцом, передаёт ему свой электронный заряд. В связи с этим, необходимо и важно подготовить образец для исследования, приклеив его на предметный столик с помощью специализированного углеродного проводящего вакуумного скотча. Так же рекомендуется удалить с поверхности налетевший мусор и частички пыли, обезжирить поверхность и сориентировать образец соответственно осям предметного столика микроскопа. Образцы могут проводить электрический ток, быть твёрдыми, мягкими или порошкообразными – в каждом случае необходима своя тонкая подготовка образцов. В лаборатории основную часть образцов составляют выращенные на атомарно гладких кремниевых подложках наноразмерные структуры, предназначенные для современных исследований в области нанотехнологий и физики материалов.

Установка AIST SmartSPM™ 1000 производится сканирование зондовым микроскопом поверхности образца с выбранной областью и заданным шагом сканирования. Выбирается размер сканируемой области в специальной программе и количество шагов. В процессе сканирования осуществляется построение картины. Данный способ отражает фактически способ формирования картины на экране телевизора с развёрткой по строкам и кадрам. Каждый кадр представляет собой набор строк сдвинутых на шаг сканирования. Необходимо научиться выбирать шаг таким образом, чтобы сэкономить общее время анализа образца и количество подходов к сканированию.

Организационно-педагогические условия реализации программы.

1. Учебно-методическое обеспечение программы

Занятия проводятся в форме лекций, обсуждения и практических работ.

При работе с детьми в учебных группах используются различные методы: словесные, метод проблемного обучения, проектно-конструкторский метод, а также игровой метод.

Метод строго регламентированного задания. Выполнение целостно-конструктивных и расчленено-конструктивных заданий (сборка основных узлов модели по схеме; сборка всей модели по схеме).

Групповой метод (мини-группы). Создание модели по предложенной схеме группой занимающихся (2– 4 человека); определение ролей и ответственности, выбор рационального способа создания модели.

Проектный метод. Самостоятельное продумывание и создание модели. Защита собственного проекта.

Соревновательный метод. Проведение соревнований

- На скорость ответа на вопросы по строению электронного микроскопа
- Скорость и качество подготовки образцов к испытаниям
- На формирование заданного результата
- Умение работать с пользовательским интерфейсом

Словесный метод. Рассказ, беседа, описание, разбор, лекция, инструктирование, комментирование, распоряжения и команды.

Метод наглядного воздействия. Демонстрация комплекса научно-исследовательского оборудования растрового электронного микроскопа FEI Quanta 3D и зондового микроскопа AIST SmartSPM™ 1000.

Метод релаксации. Выполнение гимнастического комплекса (физкульт-пауза) для снятия нагрузки на шейные отделы позвоночника, пальцы рук, тазобедренный сустав, мышцы спины.

Дискуссия. Смысл данного метода состоит в обмене взглядами по конкретной проблеме. С помощью дискуссии, обучающиеся приобретают новые знания, укрепляются в собственном мнении, учатся его отстаивать. Так как главной функцией дискуссии является стимулирование познавательного интереса, то данным методом в первую очередь решается задача развития познавательной активности обучающихся.

Методическое обеспечение:

Для успешного проведения занятий очень важна подготовка к ним, заключающаяся в планировании работы, подготовке материальной базы и самоподготовке педагога.

В этой связи продумывается вводная, основная и заключительная части занятий; просматривается необходимая литература, отмечаются новые термины и понятия, которые следует разъяснить обучающимся, выделяется теоретический материал, намечается содержание беседы или рассказа, подготавливаются наглядные пособия для изготовления модели, а также подбирается соответствующий дидактический материал, чертежи, шаблоны (в необходимом количестве комплектов).

В конце занятия, после подготовки образцов и проведения экспериментов, обучающиеся демонстрируют результаты в виде полученных фотографий и дают оценку результату: указывается на положительные моменты, отдельные недостатки, связанные с качеством подготовки образца, работой установки, наличием внешних загрязнений. Производится сопоставление результатов исследования на двух микроскопах различного способа визуализации микроструктур.

2. Материально-технические условия реализации программы.

Для проведения занятий необходимо достаточно просторное помещение из расчёта 7,2 м² на одного обучающегося, которое должно быть оборудовано необходимой мебелью: столы, стулья, шкафы. Для работы необходимо иметь достаточное количество наглядного и учебного материала и ТСО.

Для реализации программы необходимо:

1. Комплекс научно-исследовательского оборудования растрового электронного микроскопа FEI Quanta 3D и зондового микроскопа AIST SmartSPM™ 1000.
2. Рабочие места для подготовки образцов микроэлектронных структур.

3. Учебно-информационное обеспечение программы

для педагогов

1. Методика электронной микроскопии Автор Шиммель Г.
2. Инструкция по эксплуатации РЭМ FEI Quanta 3D.
3. Инструкция по эксплуатации AIST SmartSPM™ 1000.

для обучающихся

1. Электронная микроскопия для начинающих Автор: Уикли Б.

Интернет-ресурсы:

1. <http://www.docme.ru/doc/997150/rastrovaya-e-lektronnaya-mikroskopiya-dlya-nanotehnologij-meto...>