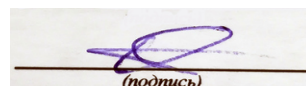


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Базовая кафедра нанотехнологий в электронике в ЯФ ФГБУН
«Физико-технологический институт» РАН

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета



И.С.Огнев

« 23 » мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины
«Спецпрактикум (интегральная электроника)»

Направление подготовки
11.04.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль)
«Интегральная электроника и наноэлектроника»

Форма обучения
очная

Программа одобрена
на заседании кафедры
от «30» марта 2023 года, протокол № 8

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол № 5 от « 25 » апреля 2023года

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины являются знакомство с основными методами диагностики микро- и наноструктур изучение методов зондовой микроскопии и профилометрии при исследовании структур микро- и нанoeлектроники, а также получение практических навыков использования сканирующего мультимикроскопа СММ-2000 и профилометра модели 130, необходимых для дальнейшей самостоятельной работы.

2. Место дисциплины в структуре ОП магистратуры

Данная дисциплина является дисциплиной по выбору и относится к вариативной части. Изучается после прохождения основных дисциплин Общенаучного цикла, параллельно с Компьютерными технологиями в научных исследованиях. При изучении широко используются знания, умения и практические навыки указанных дисциплин.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП магистратуры

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
Профессиональные компетенции		
ПК-7 Готов определять цели, осуществлять постановку задач проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ.	ИД_ПК-7.1. Знает схемы и устройства изделий микро- и нанoeлектроники различного функционального назначения. ИД_ПК-7.2. Осуществляет подготовку технического задания на выполнение проектных работ. ИД_ПК-7.3. Обладает навыками разработки архитектуры изделий микро- и нанoeлектроники.	<i>Знать:</i> <ul style="list-style-type: none">Конструкцию, технические характеристики, принципы и режимы работы зондового микроскопа и профилометра. <i>Уметь:</i> <ul style="list-style-type: none">представлять и интерпретировать полученные результаты. <i>Владеть навыками:</i> <ul style="list-style-type: none">проведения измерений в реальном времени в различных режимах
ПК-8 Способен проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований.	ИД_ПК-8.1. Знает принципы подготовки технических заданий на современные электронные устройства. ИД_ПК-8.2. Имеет навыки разработки и проектирования приборов и систем электронной техники.	<i>Знать:</i> <ul style="list-style-type: none">Требования к технике безопасности при работе с зондовым микроскопом и профилометром. <i>Уметь:</i> <ul style="list-style-type: none">получать изображения поверхности с помощью метода зондовой микроскопии в различных режимах.

		<i>Владеть навыками:</i> <ul style="list-style-type: none"> практической работы на сканирующем мультимикроскопе СММ-2000, СММ-2000 ВАК и профилометре модели 130.
--	--	--

4. Объем структура и содержание дисциплины Спецпрактикум (интегральная электроника)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 акад. часа.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа						
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
1	Конструкции зондовых микроскопов	2			2			5	Задание для самостоятельной работы
2	Режим сканирующей туннельной микроскопии.	2			14	2		10	Отчёт по лабораторной работе
3	Режим атомно-силовой микроскопии.	2			13	1		10	Отчёт по лабораторной работе
4	Работа с профилометром.	2			7	1		5	Отчёт по лабораторной работе
							0,3	1,7	Зачет
	Всего за 2 семестр 72 часа				36	4	0,3	31,7	
	Итого				36	4	0,3	31,7	

Содержание разделов дисциплины:

1. Конструкции зондовых микроскопов.

- 1.1. Типы сканеров применяемых в СЗМ, основные свойства пьезокерамических материалов, устройство трубчатых сканеров.
- 1.2. Конструкция головки микроскопа СММ-2000.
- 1.3. Конструкция универсального высоковакуумного мультимикроскопа СММ-2000-ВАК.
- 1.4. Программное обеспечение микроскопов СММ-2000 и СММ-2000-ВАК. Функции обработки кадров.

2. Режим сканирующей туннельной микроскопии.

- 2.1. Подготовка к работе.
- 2.2. Закрепление и обновление СТМ-иглы.
- 2.3. Крепление образца в СТМ-режиме.

- 2.4. Установка СТМ-столика.
- 2.5. Включение и настройка СТМ-режима.
- 2.6. Сканирование. Выбор области сканирования. Выбор параметров сканирования.
- 2.7. Подвод иглы к образцу.
- 2.8. Сканирование образца и настройка параметров.
- 2.9. Сканирование с перезапуском и вторым кадром.
- 2.10. Выход из режима сканирования и выключение.

3. Режим атомно-силовой микроскопии.

- 3.1. Подготовка к работе.
- 3.2. Установка кантилевера в АСМ-столик.
- 3.3. Установка образца для АСМ-режима.
- 3.4. Установка и настройка АСМ-столика.
- 3.5. Включение и настройка АСМ-режима.
- 3.6. Сканирование. Подвод и сканирование в АСМ-режиме.
- 3.7. Калибровка зондового микроскопа.

4. Работа с профилометром.

- 4.1. Устройство и принцип работы профилометра.
- 4.2. Назначение и область применения профилометра.
- 4.3. Краткое описание принципа работы профилометра.
- 4.4. Технические характеристики профилометра. Условия эксплуатации профилометра.
Состав и комплектность профилометра.
- 4.5. Подготовка к работе профилометра.
- 4.6. Порядок работы профилометра.
- 4.7. Техническое обслуживание профилометра.
- 4.8. Правила хранения и транспортировки профилометра.
- 4.9. Методика поверки профилометра

5. Образовательные технологии

Основной образовательной технологией являются лабораторные занятия и компьютерный практикум.

Предполагается также практическая реализация концепции проблемного обучения. Проблемное обучение представляет собой систему методов и средств обучения, направленных на моделирование реального творческого процесса путем создания проблемной ситуации и управления поиском решения проблемы. Усвоение новых знаний при этом происходит как самостоятельное открытие их студентами с помощью преподавателя. Для этого необходимо действие двух факторов:

1. Возникновение познавательной потребности, локализуемой в определенном учебном материале;
2. Овладение новыми обобщенными знаниями, необходимыми для выполнения определенных задач.

Система проблемного обучения включает в себя информационные, не требующие творческой активности личности, и тренировочные, включающие повторение действия и контроль успешности выполнения, этапы обучения.

В процессе обучения студенты вовлекаются в решение поставленных проблем (теоретического или практического характера). В силу различия креативных и когнитивных способностей студентов, опыта, особенностей личностного характера и приобретенных навыков для каждого из студентов выбирается индивидуальный темп освоения учебного материала в рамках отдельных тем. Активная форма проведения лабораторных занятий (анализ постановки задачи, обсуждение возможных методов решения, привлечение студентов к решению задач на доске, анализ полученных результатов).

В процессе обучения предусматривается широкое использование образовательных

Интернет-ресурсов.

6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса используются:

Windows Pro 7 RUS

Microsoft Office Std 2013

– для поиска учебной литературы библиотеки ЯрГУ – Автоматизированная библиотечная информационная система "БУКИ-NEXT" (АБИС "Буки-Next").

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература

1. Сканирующая туннельная микроскопия: метод. указания по выполнению лабораторных работ. / сост. С. А. Кривелевич, М. О. Насонова; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова, Науч.-метод. совет ун-та - Ярославль: ЯрГУ, 2012. - 39 с.

<http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20120708.pdf>

2. Силовая зондовая микроскопия: практикум для студентов, обучающихся по направлению Электроника и нанoeлектроника. / сост. С. А. Кривелевич; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова, Науч.-метод. совет ун-та - Ярославль: ЯрГУ, 2015. - 51 с.

<http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20150702.pdf>

б) дополнительная литература

1. Смирнов, С.В. Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурных монокристаллических интегральных схем : учебное пособие [Электронный ресурс] / С.В. Смирнов. - Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2010. - 115 с.

<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=208659>

в) ресурсы сети «Интернет»

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ
(http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php).

2. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"
(<http://www.edu.ru> (раздел Учебно-методическая библиотека) или по прямой ссылке <http://window.edu.ru/library>).

3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»
(www.biblioclub.ru).

8. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций, - учебные аудитории для проведения занятий лабораторных работ, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации;
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;

- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, хранящиеся на электронных носителях и обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие рабочим программам дисциплин.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Число посадочных мест в лекционной аудитории больше либо равно списочному составу группы обучающихся.

Автор(ы) :

Доцент базовой кафедры нанотехнологий
в электронике, кандидат ф.-м.н.

_____ С.А. Кривелевич

Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
« Спецпрактикум (интегральная электроника) »
(наименование дисциплины)

Фонд оценочных средств
для проведения текущего контроля успеваемости
и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине

Типовые контрольные задания и иные материалы,
используемые в процессе текущей аттестации

1. Общее устройство и принципы работы СЗМ: зондовые датчики, сканирующие элементы, типы взаимодействия, роль обратной связи.
2. Основные типы сканирующих элементов и механизмов подвода и перемещения зонда относительно поверхности образца. Методы защиты СЗМ от механических вибраций, акустического воздействия и термических дрейфов.
3. Физические основы СТМ. Туннельный эффект в квазиклассическом приближении. Туннельный ток в системах металл-диэлектрик-металл и металл-диэлектрик-полупроводник. Ограничения СТМ.
4. Устройство и принцип работы СТМ. Режимы постоянного тока и постоянной высоты, реализация атомарного разрешения, методы изготовления зондов.
5. Сканирующая туннельная спектроскопия и другие методики измерений, основанные на СТМ: измерение локальной работы выхода и распределения плотности электронных состояний, измерение кривых подвода и оценка качества зондов.
6. Кантилеверы – зондовые датчики для АСМ: основные типы, технология изготовления, геометрические и механические свойства.
7. Потенциал взаимодействия зонда с образцом в АСМ. Зависимость силы взаимодействия от расстояния между зондом и образцом – контактный, полуконтактный и бесконтактный режимы АСМ.
8. Устройство и принцип работы СЗМ в режиме контактной АСМ. Режимы постоянной высоты и постоянной силы, реализация атомарного разрешения. Ограничения методики контактной АСМ.
9. Исследование механических свойств материалов с помощью контактной АСМ.. Атомно-силовая акустическая микроскопия сил трения.
10. Теория механических колебаний кантилевера. Зависимость амплитуды и фазы вынужденных колебаний кантилевера от расстояния между зондом и образцом. Бесконтактный и полуконтактный режимы колебаний кантилевера.
11. Устройство и принцип работы СЗМ в бесконтактном и полуконтактном режимах АСМ. Преимущества и недостатки бесконтактной и полуконтактной методик по сравнению с контактной АСМ.
12. Параметры, влияющие на качество и пространственное разрешение изображений, получаемых с помощью СЗМ, источники искажений и артефактов.. Влияние формы зондов на качество изображений, эффект конволюции.
13. Исследование магнитных свойств материалов методом МСМ. Особенности взаимодействия зонда, имеющего магнитное покрытие, с магнитным полем образца, проблема топографических артефактов и качество получаемых изображений.
14. Реализация двухпроходных магнитных методик. Квазистатические и колебательные методики магнитной силовой микроскопии.
15. Исследование электрических свойств материалов с помощью СЗМ. Зондовые датчики

для электрических методик измерения. Электромеханическое взаимодействие между кантилевером и образцом в контактном режиме. Факторы, определяющие пространственное разрешение, достижимое в контактных электрических методиках.

16. Конструктивные особенности микроскопа СММ-2000. Устройство головки микроскопа. Программное обеспечение и основные функции обработки кадров и анализа изображений.

17. Реализация режима СТМ на микроскопе СММ-2000. Выбор параметров сканирования. Сканирование образца и настройка параметров.

18. Реализация режима атомно-силовой микроскопии на микроскопе СММ-2000. Установка и настройка АСМ - столика. Включение и настройка АСМ – режима. Подвод и сканирование в АСМ – режиме.

19. Конструктивные особенности универсального микроскопа СММ-2000 ВАК. Дополнительные возможности микроскопа СММ-2000 ВАК по сравнению с микроскопом СММ-2000. Методики очистки и подготовки поверхности образцов, реализуемые в микроскопе СММ-2000 ВАК.

20. Принцип работы профилометра модели 130, Назначение и области применения профилометров. Измеряемые параметры и основные технические характеристики профилометра модели 130.

На зачете проверяется сформированность компетенции ПК-7 (индикаторы ИД_ПК-7.1, ИД_ПК-7.2 и ИД_ПК-7.3) и ПК-8 (ИД_ПК-8.1 и ИД_ПК-8.2). Зачет выставляется по результатам лабораторных отчетов.

Правила выставления оценки

В зависимости от уровня сформированности каждой компетенции по окончании освоения дисциплины студенту выставляется оценка.

Оценка «зачет» выставляется студенту, у которого каждая компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована не ниже, чем на пороговом уровне.

Оценка «незачтено» выставляется студенту, у которого хотя бы одна компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована ниже, чем на пороговом уровне.

Код компетенции	Форма контроля	Этапы формирования (№ темы (раздела))	Показатели оценивания	Шкала и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования		
				Пороговый уровень	Продвинутый уровень	Высокий уровень
Профессиональные компетенции						
ПК-7	Зачет	1-4	<i>Знать:</i> Конструкцию, технические характеристики и, принципы и режимы работы зондового микроскопа и профилометра.	1.Знание конструкции, технических характеристик, принципов и режимов работы зондового микроскопа и профилометра. 2. Умение представлять и	1.Знание конструкции, технических характеристик, принципов и режимов работы зондового микроскопа и профилометра. Порядок подготовки к	1.Знание конструкции, технических характеристик, принципов и режимов работы зондового микроскопа и профилометра. Порядок подготовки к работе.

			<p><i>Уметь:</i> представлять и интерпретировать полученные результаты.</p> <p><i>Владеть навыками:</i> проведения измерений в реальном времени в различных режимах</p>	интерпретировать полученные результаты. 3. Владение навыками проведения измерений в реальном времени в различных режимах	<p>работе</p> <p>2. Умение представлять и интерпретировать полученные результаты. Крепление образцов в различных режимах. Установка столиков.</p> <p>3. Владение навыками проведения измерений в реальном времени в различных режимах. Сканирование. Выбор области сканирования. Выбор параметров сканирования</p>	<p>Конструкция универсального высоковакуумного мультимикроскопа</p> <p>2. Умение представлять и интерпретировать полученные результаты. Крепление образцов в различных режимах. Установка столиков. Сканирование образцов и настройка параметров</p> <p>3. Владение навыками проведения измерений в реальном времени в различных режимах. Сканирование. Выбор области сканирования. Выбор параметров сканирования. Сканирование. Подвод и сканирование в АСМ-режиме</p>
ПК-8	Зачет	1-4	<p><i>Знать:</i> Требования к технике безопасности при работе с зондовым микроскопом и профилометром.</p> <p><i>Уметь:</i> получать изображения поверхности с помощью метода зондовой микроскопии в различных режимах.</p> <p><i>Владеть навыками:</i> практической работы на сканирующем мультимикроскопе СММ-2000, СММ-2000 ВАК и профилометре</p>	<p>1. Знание требований к технике безопасности при работе с зондовым микроскопом и профилометром.</p> <p>2. Умение получать изображения поверхности с помощью метода зондовой микроскопии в различных режимах.</p> <p>3. Владеть навыками практической работы на сканирующем мультимикроскопе СММ-2000, СММ-2000 ВАК и профилометре модели 130.</p>	<p>1. Знание требований к технике безопасности при работе с зондовым микроскопом и профилометром. Порядок подготовки к работе</p> <p>2. Умение получать изображения поверхности с помощью метода зондовой микроскопии в различных режимах. Крепление образцов в различных режимах. Установка столиков.</p> <p>3. Владеть навыками практической работы на сканирующем мультимикроскопе СММ-</p>	<p>1. Знание требований к технике безопасности при работе с зондовым микроскопом и профилометром. Порядок подготовки к работе. Конструкция универсального высоковакуумного мультимикроскопа</p> <p>2. Умение получать изображения поверхности с помощью метода зондовой микроскопии в различных режимах. Крепление образцов в различных режимах. Установка столиков. Сканирование образцов и настройка параметров</p>

			модели 130.		2000, СММ-2000 ВАК и профилометре модели 130.Сканирование. Выбор области сканирования. Выбор параметров сканирования	3.Владеть навыками практической работы на сканирующем мульти – микроскопе СММ- 2000, СММ-2000 ВАК и профилометре модели 130.Сканирование. Выбор области сканирования. Выбор параметров сканирования. Подвод и сканирование в АСМ-режиме
--	--	--	-------------	--	--	--

Приложение №2 к рабочей программе дисциплины
« Спецпрактикум (интегральная электроника) »
(наименование дисциплины)

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Самостоятельная работа студента по дисциплине, включая контролируемые формы, рассчитана на 30 часов в течение учебного семестра. Самостоятельная работа в течение семестра предусматривает подготовку к выполнению лабораторных работ. Оформление отчетов по лабораторным работам в соответствии с установленными правилами. Подготовка к зачету в 2 семестре предусматривает изучение рекомендованной литературы, групповые и индивидуальные консультации.

**Учебно-методическое обеспечение
самостоятельной работы студентов по дисциплине**

а) основная литература

1. Сканирующая туннельная микроскопия: методические указания/ сост.: С.А. Кривелевич, М.О. Насонова. Ярославль. ЯрГУ, 2012.
2. Силовая зондовая микроскопия: практикум С36/ сост. С.А. Кривелевич. Ярославль. ЯрГУ, 2015.

б) дополнительная литература

1. Логинов Б.А. Сканирующая туннельная и атомно-силовая микроскопия: работа на микроскопе СММ-2000. М.: МИФИ, 2008.
2. Профилометр модели 130. Паспорт 130..0.01-ПС. ОАО «Завод Протон – МИЭТ» М.: 2007.
3. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Учебное пособие для студентов старших курсов вузов. Российская академия наук, Институт физики микроструктур. Н.Новгород. 2004.

в) ресурсы сети «Интернет»

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ
(http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php).
2. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"
(<http://www.edu.ru> (раздел Учебно-методическая библиотека) или по прямой ссылке <http://window.edu.ru/library>).
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»
(www.biblioclub.ru).