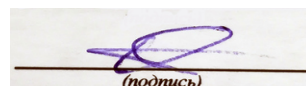


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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
<b>Профессиональные компетенции</b>		
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"><li>Конструкцию, технические характеристики, принципы и режимы работы зондового микроскопа и профилометра.</li></ul> <i>Уметь:</i> <ul style="list-style-type: none"><li>представлять и интерпретировать полученные результаты.</li></ul> <i>Владеть навыками:</i> <ul style="list-style-type: none"><li>проведения измерений в реальном времени в различных режимах</li></ul>
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"><li>Требования к технике безопасности при работе с зондовым микроскопом и профилометром.</li></ul> <i>Уметь:</i> <ul style="list-style-type: none"><li>получать изображения поверхности с помощью метода зондовой микроскопии в различных режимах.</li></ul>

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

**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](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](http://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](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](http://www.biblioclub.ru)).