

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Беспалов Владимир Александрович  
Должность: Ректор МИЭТ  
Дата подписания: 01.09.2025 15:11:44  
Уникальный программный ключ:  
ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736d

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



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе

*И.Г. Игнатова*  
«23» *сентября* 2020 г.

И.Г. Игнатова

М.П.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Методы зондовой микроскопии»**

Направление подготовки – 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»  
Направленность (профиль) – «Квантовые приборы и наноэлектроника»

## 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательных программ:

**Компетенция ПК- 2** «Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения» сформулирована на основе следующих профессиональных стандартов:

40.104 Специалист по измерению параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур

**Обобщенная трудовая функция:** Совершенствование процессов измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур

**Трудовые функции:** С/01.6 «Модернизация существующих и внедрение новых методов и оборудования для измерений параметров наноматериалов и наноструктур».

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
ПК-2.МЗМ «Способен исследовать свойства поверхности элементов электронных устройств и приборов с помощью методов зондовой микроскопии»	<ul style="list-style-type: none"><li>– анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования;</li><li>– участие в планировании и проведении экспериментов по заданной методике, обработка результатов с применением современных информационных технологий и технических средств;</li><li>– подготовка и составление обзоров, рефератов, отчетов, научных публикаций и докладов на научных конференциях и семинарах;</li></ul>	<p><b>Знания:</b> Методов сканирующей туннельной микроскопии и атомно-силовой микроскопии</p> <p><b>Умения:</b> Извлекать информацию из результатов сканирующей туннельной микроскопии и атомно-силовой микроскопии</p> <p><b>Опыт деятельности:</b> Опыт оценки параметров поверхности исследуемого образца, а также измерительного зонда, объяснения наблюдаемых при исследовании поверхности эффектов;</p>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Для её освоения требуются знания, умения и опыт деятельности, приобретаемые студентами при изучении следующих дисциплин: Математика (Математический анализ, Линейная алгебра, Дифференциальные уравнения, Теория вероятностей, Физика. Электричество и магнетизм, Химия, Квантовая механика, Физика конденсированного состояния, Физические основы электроники, Электродинамика, Наноэлектроника.

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоёмкость (ЗЕ)	Общая трудоёмкость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
4	8	2	72	-	-	36	36	За

### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
1. Сканирующая туннельная микроскопия	-	-	18	18	Контрольная работа № 1
					Контроль выполнения индивидуального практического задания
2. Атомно-силовая микроскопия	-	-	18	18	Опрос
					Контроль выполнения индивидуального практического задания

#### 4.1. Лекционные занятия

Не предусмотрены

#### 4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
1	1-3	6	<b>Физические основы сканирующей туннельной микроскопии:</b> физические основы сканирующей туннельной микроскопии, свойства поверхности в туннельной микроскопии.
	4-5	4	<b>Методы исследования в туннельной микроскопии:</b> спектроскопия поверхности, свойства поверхности в туннельной микроскопии. методы измерения локального поверхностного потенциала туннельной микроскопии, метод летящей иглы, метод постоянного тока.
	6-7	4	<b>Основные результаты применения сканирующей туннельной микроскопии:</b> методы получения атомного разрешения в туннельной микроскопии, туннельная и автоэмиссионная литография, современные успехи туннельной микроскопии.
	8-9	4	<b>Основные принципы создания сканирующих туннельных микроскопов:</b> конструкция туннельного микроскопа, требования к механической частиц.
2	10-11	4	<b>Физические основы атомно-силовой микроскопии:</b> физические основы атомно-силовой микроскопии, свойства поверхности в атомно-силовой микроскопии.
	12-14	6	<b>Методы исследования в атомно-силовой микроскопии.</b>
	15-16	4	<b>Основные результаты применения атомно-силовой микроскопии.</b>
	17-18	4	<b>Основные принципы создания атомно-силовых микроскопов.</b>

#### 4.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

#### 4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	2	Работа с конспектом семинарских занятий.

	14	Выполнение индивидуального практического задания по выбору (решение задач на тему): туннельный эффект, теория квантовых переходов, квазиклассические и квантовые распределения носителей тока, поверхностные состояния на границе полупроводников и металлов, термокомпенсация, дрейфы, крип, виброзащита, акустические шумы, применение сканирующей микроскопии для исследования объектов наноэлектроники, современные успехи туннельной микроскопии.
	2	Подготовка к контрольной работе №1
	2	Работа с конспектом семинарских занятий.
2	14	Выполнение индивидуального практического задания по выбору (решение задач на темы): Ван-дер-ваальсово взаимодействие, потенциал Ленарда-Джонса, электростатические силы, Трибо-эффект, распределение электронной плотности, микромеханические свойства поверхности, магнитные свойства поверхности, оценка силового воздействия, выбор материалов зондов и подложек, добротность зондового устройства, учет адсорбата воздуха, мягкие и жесткие кантилеверы, оценки сдвига фаз на плоской неоднородной поверхности, учет адсорбата воздуха, сдвиг резонансной частоты, дислокации на поверхности, вицинальные поверхности, ограниченные слои, доменная структура ферромагнетиков и сегнетоэлектриков, 2-х проходная методика исследования распределения электромагнитных полей, зондовые технологии создания элементной базы наноэлектроники.
	2	Подготовка к опросу.

#### 4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Не предусмотрены

### 5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>):

#### Модуль 1

1. Методические рекомендации для проведения семинарских занятий.
2. Методические указания студентам.
3. Список учебной литературы.

#### Модуль 2

1. Методические рекомендации для проведения семинарских занятий.
2. Методические указания студентам.
3. Список учебной литературы.

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Литература:

1. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии : Учеб. пособие / В.Л. Миронов. - М. : Техносфера, 2004. - 144 с.
2. Рыков С.А. Сканирующая зондовая микроскопия полупроводниковых материалов и наноструктур: Учеб. пособие для вузов / С.А. Рыков; Под ред. В.И. Ильина, А.Я. Шика. - СПб. : Наука, 2001. - 53 с.
3. Неволин В.К. Учебное пособие по дисциплине "Зондовые методы создания структур нанoeлектроники" / В.К. Неволин; М-во образования и науки РФ, МГИЭТ(ТУ). - М. : МИЭТ, 2011. - 163 с.
4. Неволин В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике: Учеб. пособие / В.К. Неволин. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Техносфера, 2006. - 160 с.

### Периодические издания:

1. ФИЗИКА И ТЕХНИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ = SEMICONDUCTORS / РАН, Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе; Гл. ред. Р.А. Сурис. - СПб. : Наука, 1967 - . - URL: <http://journals.ioffe.ru/ftp/> (дата обращения: 20.10.2020). – Режим доступа: свободный.
2. УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК : Научный журнал / Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Редакция журнала УФН. - М. : РАН, 1918 - . - URL:<http://ufn.ru/> (дата обращения: 20.10.2020). – Режим доступа: свободный
3. ЖУРНАЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ : Научный журнал / РАН, Ин-т физических проблем им. П.Л. Капицы. - М. : РАН, Наука, 1873 - . - URL:<http://www.jetp.ac.ru/cgi-bin/r/index> (дата обращения: 20.10.2020). – Режим доступа: свободный
4. ПИСЬМА В ЖУРНАЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ = JETP Letters / Российская академия наук, Институт физических проблем им. П. Л. Капицы РАН. - М. : ИКЦ Академкнига, 1965 - . - URL: <http://www.jetpletters.ac.ru/> (дата обращения: 20.10.2020). – Режим доступа: свободный
5. JOURNAL OF APPLIED PHYSICS / American Institute of Physics. - USA : AIP, [б.г.]. - URL: <http://scitation.aip.org/content/aip/journal/jap> (дата обращения: 20.10.2020). – Режим доступа: по подписке МИЭТ.

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. NSM Archive. Characteristics and Properties = Новые полупроводниковые материалы: Характеристики и свойства: Электронный архив / webmaster Алексей Толмачев // ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН : [сайт]. – Москва, 1998-2001. - URL: <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/rintroduction.html> (дата обращения: 01.09.2020).
2. SCOPUS : Библиографическая и реферативная база данных научной периодики : сайт. – URL: [www.scopus.com/](http://www.scopus.com/) (дата обращения: 01.09.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ

3. Web of Science [v.5.35]: сайт. - URL: <http://apps.webofknowledge.com> (дата обращения: 01.09.2020).
4. ФИПС : Информационно-поисковая система: сайт. - Москва, 2009 - . - URL: <https://www1.fips.ru/elektronnye-servisy/informatsionno-poiskovaya-sistema/index.php> (дата обращения: 01.09.2020)
5. MATLAB : [раздел сайта] // MathWorks : [сайт]. - 1994-2020. - URL: <https://www.mathworks.com/help/matlab/index.html> (дата обращения: 01.09.2020)
6. WebCSD // The Cambridge Crystallographic Data Centre (CCDC) : [сайт]. - URL: <https://www.ccdc.cam.ac.uk/structures/> (дата обращения: 01.09.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
7. APS Physics: [сайт] / American Physical Society Sites. - URL: <https://www.aps.org/> (дата обращения: 01.09.2020). – Режим доступа: свободный.

## **8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Освоение образовательной программы обеспечивается ресурсами электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС <http://orioks.miet.ru>.

В ходе реализации обучения используются технологии смешанного обучения.

Применяется модель смешанного обучения «перевернутый класс». Учебный процесс начинается с постановки проблемного задания, для выполнения которого студент должен самостоятельно ознакомиться с материалом, размещенным в электронной среде. В аудитории проверяются и дополняются полученные знания с помощью дискуссий и решения практических задач. Работа поводится по следующей схеме: СРС (онлайновая преподавательная работа с использованием внешнего или внутреннего ресурса) - аудиторная работа (семинар с представлением и обсуждением выполненной работы, решение практических задач с опорой на результаты самостоятельной работы) - обратная связь с обсуждением и подведением итогов.

Для взаимодействия студентов с преподавателем используются сервисы обратной связи: ОРИОКС «Домашние задания», электронная почта преподавателя, zoom-консультации.

В процессе обучения при проведении занятий и для самостоятельной работы используются внутренние электронные ресурсы в системе ОРИОКС.

## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Учебная аудитория	Мультимедийное оборудование	Операционная система Microsoft Windows от 7 версии и выше, Microsoft Office Professional Plus или Open Office, браузер (Firefox, Google Chrome); Acrobat reader DC
Помещение для самостоятельной работы	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	Операционная система Microsoft Windows от 7 версии и выше, Microsoft Office Professional Plus или Open Office, браузер (Firefox, Google Chrome); Acrobat reader DC

## 10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

ФОС по подкомпетенции ПК-2.МЗМ «Способен исследовать свойства поверхности элементов электронных устройств и приборов с помощью методов зондовой микроскопии».

Фонд оценочных средств представлен отдельным документом и размещен в составе УМК дисциплины электронной информационной образовательной среды ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

## 11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

### 11.1. Особенности организации процесса обучения

Посещение семинаров обязательно. Дополнительной формой аудиторной работы являются консультации. Консультации проводятся преподавателем по расписанию, заранее согласованному со студентами.

Цель семинаров – обучение базовым знаниям и умениям с частичным охватом материала повышенного уровня. Освоение дисциплины на повышенном уровне в значительной степени осуществляется студентом самостоятельно. Преподаватель предоставляет студентам все необходимые для этого методические материалы, а также проводит для желающих еженедельные консультации. Тема консультации, как правило, повторяет тему практического занятия, которое проводилось на неделе, предшествующей консультации. На консультациях обсуждаются вопросы повышенного уровня сложности, теоретический материал по теме. Безусловно, во время консультаций можно получить помощь и по всем вопросам базового уровня.

Студентам рекомендуется осуществлять поиск в научной периодике дополнительной информации по теме лекции с последующим обсуждением результатов поиска с преподавателем.

В течение семестра студентам выдаются индивидуальные практические задания, представляющие из себя комплект практических задач, решение которых формирует навыки теоретических вычислений, которые необходимы в практической деятельности специалиста по нанoeлектронике. Эти навыки необходимы для полноценного понимания физических моделей, излагаемых в научных статьях по нанoeлектронике, а также для воспроизведения математических выкладок, опущенных в этих статьях. Контроль выполнения студентами индивидуальных заданий проводится на консультациях в соответствии с графиком контрольных мероприятий в ОРИОКС.

## 11.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительная балльная система.

Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия в семестре (суммарно 80 баллов), активность в семестре (20 баллов). Структура и график контрольных мероприятий доступен в ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

### РАЗРАБОТЧИКИ:

Доцент кафедры КФН, к. т. н.  / А. В. Ромашкин/

Ст. преподаватель каф. КФН  / А. Е. Широков /

Рабочая программа дисциплины «Методы зондовой микроскопии» по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», направленности (профилю) «Квантовые приборы и наноэлектроника» разработана на кафедре квантовой физики и наноэлектроники (КФН) и утверждена на заседании кафедры 17 декабря 2020 года, протокол № 12

Заведующий кафедрой КФН  /А. А. Горбацевич/

### ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа согласована с Центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК  / И.М. Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

Директор библиотеки  / Т.П. Филиппова /