

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:

ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736

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» декабря 2020 г.

М.П.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Методы исследования параметров наноматериалов и наноструктур»

Направление подготовки – 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Направленность (профиль) – «Квантовые приборы и нанoeлектроника»

2020 г.

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.МИ «Способен выбирать и реализовывать в своей исследовательской деятельности наиболее эффективные методы и методики экспериментального исследования характеристик материалов и элементов интегральных устройств»	– анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования; – участие в планировании и проведении экспериментов по заданной методике, обработка результатов с применением современных информационных технологий и технических средств;	Знания: – основных проблем измерения параметров материалов и элементов нанoeлектроники; – теоретических основ электрофизических, оптических и физико-аналитических методов исследования, измерения и контроля; – основных методов измерения наноматериалов и наноструктур; Умения: – объяснять сущность физических явлений и процессов, лежащих в основе того или иного метода измерений; – выбирать необходимые для проведения исследований современные методы измерения; – самостоятельно обрабатывать и анализировать полученные данные измерений и делать по результатам

		анализа правильные выводы; – самостоятельно проводить отдельные виды измерений наноматериалов и наноструктур; – решать практико-ориентированные задачи на нахождение электрофизических параметров полупроводниковых материалов и гетероструктур; Опыт деятельности: – опыт решения практических задач, связанных с выбором правильной методики измерения электрофизических параметров изделий наноэлектроники;
--	--	--

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), Метрология, стандартизация и технические измерения, Физика конденсированного состояния, Основы технологии электронной компонентной базы, Физические основы электроники, Схемотехника, Электродинамика, Твёрдотельная электроника.

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	7	4	144	32	16	-	60	Экз (36)

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
1. Электрофизические методы исследования наноматериалов и структур	16	-	-	20	Контроль решённых практико-ориентированных задач.
2. Оптические методы исследования наноматериалов и структур	6	-	-	10	Контроль решённых практико-ориентированных задач.
3. Физико-аналитические методы химического анализа и электронная микроскопия	10	-	-	10	Контроль решённых практико-ориентированных задач.
4. Лабораторный практикум	-	16	-	20	Выполнение и защита лабораторных работ
					Контроль выполнения индивидуальных практических заданий к лабораторным работам

4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Введение. Основные параметры полупроводниковых материалов, микро- и наноструктур и соотношения между ними. Принципы выбора методов исследования и контроля.
	2	2	Методы измерения удельного сопротивления. Четырехзондовый и двухзондовый методы. Метод Ван дер Пау. Метод сопротивления растекания. Бесконтактный метод определения удельного сопротивления. Современное оборудо-

			вание для измерения удельного сопротивления.
	3-4	4	Определение концентрации носителей и подвижности. Эффект Холла в постоянных и переменных электрических и магнитных полях. Эффект магнитосопротивления. Квантовый эффект Холла. Метод измерения профилей концентрации по ВФХ контакта металл-полупроводник. Омические контакты и методы их контроля. Оптический метод определения концентрации. Оборудование для измерения концентрации.
	5	2	Физические основы методов измерения характеристик неравновесных носителей заряда. Методы измерения времени жизни, диффузионной длины и скорости поверхностной рекомбинации
	6-7	4	Исследование свойств структур МДП. Метод ВФХ для определения основных параметров МДП структур и методы их измерения. Методы измерения плотности поверхностных состояний. Методы измерения плотности подвижного заряда в диэлектрике. Методы лавинной инжекции и зависимость от времени пробоя для определения параметров ловушек в диэлектрике. Измерение плотности подвижного заряда в диэлектрике. Метод релаксационной спектроскопии глубоких уровней в полупроводнике. Современное оборудование для измерения параметров МДП структур.
	8	2	Тестовый контроль. Тестовые элементы. Тестовые модули и тестовый контроль.
2	9-10	4	Методы измерения толщин полупроводниковых и диэлектрических слоев. Обработка результатов измерений. Методы декорирования шлифа. Профилометрия. Методы интерферометрии в видимой и ИК областях. ИК-Фурье-спектроскопия. Цветовой метод измерения толщины диэлектрических слоев. Эллипсометрия. Современное оборудование для измерения толщин. Основные методы статистической обработки результатов измерений.
	11	2	Исследование кристаллической структуры твердых тел. Дифракционные методы исследования структуры твердых тел. Методы, основанные на дифракции рентгеновских лучей. Методы, основанные на дифракции быстрых и медленных электронов.
3	12-13	4	Анализ химического состава в полупроводниковых структурах. Методы фотоэлектронной спектроскопии. Метод Оже - спектроскопии. Рентгеновский микроанализ. Вторичная ионная масс-спектроскопия. Обратное рассеяние Резерфорда. Комбинационное рассеяние света. Сравнительный анализ методов.

			Современное оборудование.
	14-16	6	Электронная микроскопия. Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ). Типы просвечивающих электронных микроскопов. Подготовка образцов для просвечивающей электронной микроскопии. Растровая электронная микроскопия (РЭМ). Режимы растровой электронной микроскопии. Использование фокусированного ионного пучка. Устройство электронных микроскопов. Современное оборудование.

4.2. Практические занятия

Не предусмотрены

4.3. Лабораторные работы

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Наименование работы
4	1	4	Измерение удельного сопротивления полупроводников четырехзондовым методом.
	2	4	Определение основных электрических параметров полевых транзисторов Шоттки по их вольтамперным характеристикам.
	3	4	Определение профиля концентрации носителей заряда методом ВФХ контакта металл - полупроводник.
	4	4	Исследование свойств структур МДП методом высокочастотных вольт-фарадных характеристик.

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	8	Работа с конспектом лекций.
	14	Решение практико-ориентированных задач на темы: – «Измерение удельного сопротивления» – «Измерение концентрации и подвижности носителей заряда» – «Свойства МДП структур и методы их исследования»

2	3	Работа с конспектом лекций.
	7	Решение практико-ориентированных задач на тему: «Измерение толщин проводящих и диэлектрических слоев»
3	3	Работа с конспектом лекций.
	7	Решение практико-ориентированных задач на тему: «Методы химического анализа и электронная микроскопия»
4	14	Индивидуальное практическое задание к лабораторным работам: вывод формул из описания лабораторных работ, написание краткого конспекта основных теоретических сведений.
	2	Подготовка к выполнению лабораторной работы: изучение схемы экспериментальной установки, изучение методики выполнения работы
	2	Обработка экспериментальных результатов. Подготовка ответов на поставленные преподавателем вопросы.
	2	Написание отчёта о проделанной работе. Подготовка к защите лабораторной работы.

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. Теоретический материал по тематике лекций.
2. Методические указания студентам.
3. Список учебной литературы.

Модуль 2

1. Теоретический материал по тематике лекций.
2. Методические указания студентам.
3. Список учебной литературы.

Модуль 3

1. Теоретический материал по тематике лекций.
2. Методические указания студентам.
3. Список учебной литературы.

Модуль 4 «Лабораторный практикум»

1. Описания лабораторных работ
2. Список контрольных вопросов

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература:

1. Шалимова К.В. Физика полупроводников : Учебник / К.В. Шалимова. - 4-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2010. - 400 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература).
2. Епифанов Г.И. Физика твердого тела: Учеб. пособие / Г.И. Епифанов. - 4-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2011. - 288 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/2023> (дата обращения: 14.12.2020). - ISBN 978-5-8114-1001-9.
3. Зебрев Г.И. Физические основы кремниевой наноэлектроники: Учеб. пособие / Г.И. Зебрев. - 4-е изд. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2020. - 243 с. - (Нанотехнологии). - URL: <https://e.lanbook.com/book/66216> (дата обращения: 16.11.2020). - ISBN 978-5-00101-830-8.
4. Ищенко А.А. Нанокремний: свойства, получение, применение, методы исследования и контроля / А.А. Ищенко, Г.В. Фетисов, Л.А. Асланов. - М. : Физматлит, 2011. - 648 с. Ссылка на ресурс: <https://e.lanbook.com/book/5271>
5. Эгертон Р.Ф. Физические принципы электронной микроскопии : Введение в просвечивающую, растровую и аналитическую микроскопию / Р.Ф. Эгертон; Пер. с англ. С.А. Иванова. - М. : Техносфера, 2010. - 304 с. - (Мир физики и техники). - Оригинал на англ. яз. в режиме доступа : <http://link.springer.com/book/10.1007/b136495>.
6. Старосельский В.И.. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : Учеб. пособие / В.И. Старосельский; Национальный исследовательский университет "МИЭТ"; [Под ред. Ю.А. Парменова]. - М. : Юрайт, 2019. - 463 с. - URL: <https://urait.ru/bcode/425163> (дата обращения: 30.12.2020). - ISBN 978-5-9916-0808-4, 978-5-9692-0962-6. - Текст : электронный.

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: 27.11.2020).
2. SCOPUS : Библиографическая и реферативная база данных научной периодики : сайт. – URL: www.scopus.com/ (дата обращения: 27.11.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
3. Web of Science [v.5.35]: сайт. - URL: <http://apps.webofknowledge.com> (дата обращения: 27.11.2020).
4. ФИПС : Информационно-поисковая система: сайт. - Москва, 2009 - . - URL: <https://www1.fips.ru/elektronnye-servisy/informatsionno-poiskovaya-sistema/index.php> (дата обращения: 27.11.2020)
5. MATLAB : [раздел сайта] // MathWorks : [сайт]. - 1994-2020. -
URL: <https://www.mathworks.com/help/matlab/index.html> (дата обращения: 27.11.2020)
6. WebCSD // The Cambridge Crystallographic Data Centre (CCDC) : [сайт]. -
URL: <https://www.ccdc.cam.ac.uk/structures/> (дата обращения: 27.11.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
7. APS Physics: [сайт] / American Physical Society Sites. - URL: <https://www.aps.org/> (дата обращения: 20.10.2020). – 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 предаудиторная работа с использованием внешнего или внутреннего ресурса) - аудиторная работа (лабораторная работа 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
Лаборатория физики конденсированного состояния (ауд. 4347)	Высокочастотный анализатор полупроводников Генератор импульсный Agilent 33220A Измеритель добротности 50 кГц-35мГц BM-560 Комплект из 6-ти интерфейсных устройств PCI-GPIB NI-488.2 Осциллограф 2 каналный 100МГц TDS 2012B СБ E6550/iG33/1024MB/250G/CF730 0/266/DESK TOP/ms Вольтметр Agilent 34405A Вольтметр Agilent 34411A Вольтметр универсальный В7-30 Измеритель RCL Измеритель добротности BM-560 Измеритель цифровой E7-12 Источник питания Agilent E3634A Источник питания 0-30 В, 0-5А GPR-3060D Источник питания Agilent E3634A Вольтметр Agilent 34411A Уст. изм. эфф. Холла HMS-5000/055 T Учебно-лабораторный стенд для	Академические лицензии на ПО по проекту Azure Dev Tools for Teaching (Microsoft)

	измерения электрофизических параметров полупроводниковых материалов Цифровой мультиметр Agilent 34405A Программный комплекс по моделированию эл.-маг. характеристик базовых элем. Источник питания Agilent E3645A	
Помещение для самостоятельной работы обучающихся	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.МИ «Способен выбирать и реализовывать в своей исследовательской деятельности наиболее эффективные методы и методики экспериментального исследования характеристик материалов и элементов интегральных устройств».

Фонд оценочных средств представлен отдельными 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 лекций и лабораторных работ обязательно. Дополнительной формой аудиторной работы являются консультации. Консультации проводятся лектором по расписанию, заранее согласованному со студентами.

Цель лекций – обучение базовым знаниям и умениям с частичным охватом материала повышенного уровня. Освоение дисциплины на повышенном уровне в значительной степени осуществляется студентом самостоятельно. Преподаватель, ведущий лекции, предоставляет студентам все необходимые для этого методические материалы. На консультациях обсуждаются вопросы повышенного уровня сложности, теоретический материал по теме. При выполнении лабораторной работы студент сначала должен пройти допуск, при котором проверяется его готовность к выполнению работы. При этом проверяется выполнение индивидуального практического задания к лабораторной работе. В том случае, если студент не выполнил индивидуальное практическое задание, он не допуска-

ется к выполнению лабораторной работы. Затем студент приступает к выполнению лабораторной работы, в составе рабочей группы проводит исследования под руководством преподавателя в соответствии с изложенной методикой проведения эксперимента.

После проведения экспериментов студенты проводят обработку полученных результатов и их анализ, на основе которого формулируются выводы. Затем осуществляется защита выполненной работы (индивидуально) и проставляется зачет. Защита включает предоставление отчета по работе, оформленного в соответствии с требованиями, изложенными в описании к работе, обоснование полученных результатов и сделанных выводов, а также ответы на контрольные вопросы.

Лабораторные работы проводятся, как правило, в интерактивном режиме при работе в малых группах и диалоге с преподавателем с разбором конкретных ситуаций в процессе выполнения исследований и при защите полученных результатов.

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

Контроль решения практико-ориентированных задач проводится на консультациях в течение семестра. Может быть организована беседа по разбору допущенных в решениях ошибок.

Обязательным условием допуска к экзамену является выполнение всех лабораторных работ.

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 60 баллов), сдача экзамена (40 баллов). Структура и график контрольных мероприятий доступен в ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

РАЗРАБОТЧИКИ:

Ст. преподаватель каф. КФН  /С. Б. Бурзин/

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

Рабочая программа дисциплины «Методы исследования параметров наноматериалов и наноструктур» 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. Горбачевич/

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

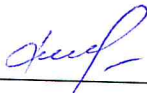
Начальник АНОК



/ И.М. Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

Директор библиотеки



/ Т.П. Филиппова /