

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ

КАФЕДРА ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 4

от 23.07.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ИЗМЕРЕНИЯ В МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКЕ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
7	3	108	24	24	0		24	0	Э
Итого	3	108	24	24	0	12	24	0	

АННОТАЦИЯ

Данная дисциплина относится к циклу общепрофессиональных дисциплин, обеспечивающих основную профессиональную подготовку студентов. Дисциплина предполагает успешное освоение студентом следующих курсов:

- Математика;
- Общая физика;
- Общая электротехника и электроника
- Физика полупроводников
- Введение в современные нанотехнологии

Для освоения данной дисциплины необходимо:

- знать физические основы микроэлектроники, теорию работы и основные характеристики полупроводниковых приборов, их математические модели;
- уметь выполнять численные оценки параметров полупроводниковых приборов;
- владеть навыками математических расчетов с использованием специализированного ПО для численного анализа.

Результатом освоения учебной дисциплины является формирование знаний и практических навыков по методикам и технологиям измерений параметров материалов и приборов в микро- и нанoeлектронике. Выпускники получают базовые и профессиональные знания и умения для самостоятельной работы в качестве оператора измерительных стендов, исследователя параметров полупроводниковых материалов и устройств, инженера-технолога, контролера на производстве электронной компонентной базы микро-/нанoeлектроники и перспективных приборов.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения учебной дисциплины «Измерения в микро- и нанoeлектронике» является изучение студентами современных средств и методов измерений параметров полупроводниковых приборов микро и нанoeлектроники.

Основными задачами освоения дисциплины являются:

- научить студентов современным методам достижения достоверности и точности различных видов измерений;
- изучить приемы и навыки выбора методики и измерения конкретных масштабов физических величин с минимально возможными погрешностями;
- усвоить основные физические закономерности, наиболее часто привлекаемые для решения задач экспериментального физического исследования требуемой точности.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Знание студентами теоретических положений и получение практических навыков в области измерений приборов твердотельной микро- и нанoeлектроники позволяет студентам университета быстро включиться в производственную деятельность по проведению разнообразных экспериментов и решать практические задачи.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
производственно-технологический			
Выполнение работ по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники	Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и нанoeлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и нанoeлектроники. Инновационные	ПК-7.3 [1] - Способен применять и владеет основами метрологического контроля проектной, конструкторской и технологической документации, устройств и технологий в сфере нанoeлектроники <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.003	З-ПК-7.3[1] - Знать основные методы метрологического контроля проектной, конструкторской и технологической документации, устройств и технологий в сфере нанoeлектроники и нанoeлектроники; У-ПК-7.3[1] - Уметь применять основные методы метрологического контроля проектной, конструкторской и технологической документации, устройств и технологий в сфере нанoeлектроники и нанoeлектроники; В-ПК-7.3[1] - Владеть основами метрологического контроля проектной, конструкторской и технологической документации, устройств и технологий в сфере нанoeлектроники и нанoeлектроники

	<p>технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.</p>		
<p>Организация метрологического обеспечения производства материалов и изделий электронной техники</p>	<p>Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и нанoeлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и нанoeлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения</p>	<p>ПК-9 [1] - Способен выполнять определенный тип измерительных или контрольных операций при исследовании параметров полупроводниковых приборов и устройств или в технологическом процессе по производству материалов и изделий электронной техники</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.003</p>	<p>З-ПК-9[1] - Знание параметров полупроводниковых приборов аналоговой, цифровой, радиочастотной и СВЧ-электроники.; У-ПК-9[1] - Умение выполнять исследования параметров полупроводниковых приборов и устройств в микро- и нанoeлектронике; В-ПК-9[1] - Владение методами измерений в технологическом процессе по производству материалов и изделий электронной техники</p>

	электронных приборов и устройств.		
научно-исследовательский			
Участие в планировании и проведении экспериментов по заданной методике, обработка результатов с применением современных информационных технологий и технических средств	Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и нанoeлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и нанoeлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.	ПК-2 [1] - Способен к экспериментальной проверке выбранных технологических решений производства приборов и исследованию параметров наноструктурных материалов в соответствии с утвержденной методикой, к разработке методик и техническому руководству экспериментальной проверкой технологических процессов и исследованием параметров наноструктурированных материалов <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-2[1] - Знания в области материаловедения наноструктурированных материалов.; У-ПК-2[1] - Умение экспериментально исследовать параметры наноструктурированных материалов; В-ПК-2[1] - Владение современными нанотехнологиями и методиками измерений в области микро- и нанoeлектроники.
Анализ научно-технической информации, отечественного и	Материалы, компоненты, электронные приборы,	ПК-3 [1] - Способен анализировать и систематизировать результаты	З-ПК-3[1] - Знание законов статистической физики; У-ПК-3[1] - Умение

<p>зарубежного опыта по тематике исследования</p>	<p>устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и нанoeлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и нанoeлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.</p>	<p>исследований, определять степень достоверности результатов экспериментальных исследований, сопоставлять полученные результаты с мировым уровнем, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций, баз данных</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>находить научную информацию в базах данных, выполнять её анализ и систематизацию, представлять результаты своих исследований в виде докладов, отчётов и публикаций.; В-ПК-3[1] - Владение методами обработки результатов измерений</p>
<p>сервисно-эксплуатационный</p>			
<p>Проверка технического состояния и остаточного ресурса оборудования, организация профилактических осмотров и текущего ремонта</p>	<p>Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы</p>	<p>ПК-13 [1] - Способен к регламентной проверке, текущему сервисному обслуживанию и мелкому ремонту измерительного, диагностического или технологического оборудования</p> <p><i>Основание:</i></p>	<p>З-ПК-13[1] - Знание регламентов проверки измерительного, диагностического или технологического оборудования; У-ПК-13[1] - умение проводить мелкий ремонт ремонту измерительного, диагностического или</p>

	<p>производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и нанoeлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и нанoeлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.</p>	<p>Профессиональный стандарт: 29.001</p>	<p>технологического оборудования; В-ПК-13[1] - Владение навыками регламентной проверки и текущего сервисного обслуживания измерительного, диагностического или технологического оборудования</p>
--	---	--	--

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование воспитательного потенциала

		<p>дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для:</p> <ul style="list-style-type: none"> - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед; - формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности и аккуратности в работе с опасными веществами и при требованиях к нормам высокого класса чистоты (B35)</p>	<p>1.Использование воспитательного потенциала профильных дисциплин «Введение в специальность», «Введение в технику физического эксперимента», «Измерения в микро- и наноэлектронике», «Информационные технологии в физических исследованиях», «Экспериментальная учебно-исследовательская работа» для:</p> <ul style="list-style-type: none"> - формирования навыков безусловного выполнения всех норм безопасности на рабочем месте, соблюдении мер предосторожности при выполнении исследовательских и производственных задач с опасными веществами и на оборудовании полупроводниковой промышленности, а также в помещениях с высоким классом чистоты посредством привлечения действующих специалистов полупроводниковой промышленности к реализации учебных дисциплин и сопровождению проводимых у студентов практических работ в этих организациях, через

		<p>выполнение студентами практических и лабораторных работ, в том числе с использованием современных САПРов для моделирования компонентной базы электроники, измерительного и технологического оборудования на кафедрах, лабораториях и центрах ИНТЭЛ; 2.Использование воспитательного потенциала профильных дисциплин «Спецпрактикум по физике наносистем», «Спецпрактикум по нанотехнологиям», «Специальный практикум по физике наносистем», «Современные проблемы физики конденсированных сред (спецсеминар)», «Экспериментальные методы исследования наноструктур (спецсеминар)», для: - формирования профессиональной коммуникации в научной среде; - формирования разностороннего мышления и тренировки готовности к работе в профессиональной и социальной средах полупроводниковой промышленности - формирования умений осуществлять самоанализ, осмысливать собственные профессиональные и личностные возможности для саморазвития и самообразования, в целях постоянного соответствия требованиям к эффективным и прогрессивным специалистам для разработок новых материалов и устройств по направлениям, связанным с СВЧ электроникой, микро- и нано процессорами, оптическими модуляторами и применением новых материалов в нанoeлектронных компонентах через организацию практикумов в организациях по разработке и производству полупроводниковых изделий, использование методов коллективных форм познавательной деятельности, ролевых заданий, командного</p>
--	--	---

		выполнения учебных заданий и защиту их результатов.
--	--	---

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>7 Семестр</i>						
1	Измерения на постоянном токе. Теория СВЧ цепей	1-8	12/12/0		25	Кл-8	3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-7.3, У-ПК-7.3, В-ПК-7.3, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, 3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13
2	Измерения параметров СВЧ	9-12	12/12/0		25	Кл-12	3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-7.3, У-ПК-7.3, В-ПК-7.3, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, 3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		24/24/0		50		
	Контрольные мероприятия за 7				50	Э	3-ПК-2, У-ПК-2,

Семестр							В-ПК-2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, 3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13
---------	--	--	--	--	--	--	--

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
Кл	Коллоквиум
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	24	24	0
1-8	Измерения на постоянном токе. Теория СВЧ цепей	12	12	0
1	Основные термины и определения Классификация измерений. Особенности измерений в микро- и нанoeлектронике. Измерительные сигналы. Средства измерений. Эталоны и меры в микро- и нанoeлектронике. Измерительные преобразователи	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		2	0	0
1	Измерение слоевого сопротивления металлического слоя с помощью зондовой станции EP6 Измерение слоевого сопротивления металлического слоя с помощью зондовой станции EP6 Приобретение практических навыков по измерению параметров тестовой структуры на пластине - слоевого сопротивления металлического слоя	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	Измерение переходного сопротивления омических контактов с использованием метода TLM Приобретение практических навыков по измерению параметров переходного сопротивления омических контактов на полупроводниковой пластине	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	Измерение на постоянном токе Измерения на постоянном сигнале. Неидеальности квазилинейных резистивных компонентов. Основные схемы измерений. 4-точечный метод измерения параметров полупроводниковых приборов. Методы измерения переходного сопротивления омических контактов. TLM метод	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		2	0	0

3	Транзисторы и схемы измерения Классификация полевых транзисторов. Транзистор с высокой подвижностью электронов (HEMT). Вольт-амперные характеристики транзисторов. Схемы измерения	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
3	Измерение вольт-фарадных характеристик МДП-структур Приобретение практических навыков по измерению параметров тестовых структур на полупроводниковой пластине методом ВФХ	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
4	Измерение статических параметров транзистора с высокой подвижностью электронов (HEMT) Приобретение практических навыков по измерению статических параметров транзистора с высокой подвижностью электронов (HEMT) на пластине (крутизна, напряжение отсечки, ток насыщения)	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
4	Диаграмма Вольперта-Смита. Понятие длинной линии. Диаграмма Вольперта-Смита. Описание диаграммы. Основы работы с диаграммой. Понятие длинной линии. Модель нагруженной линии. Сосредоточенные и распределенные системы. Отражение волн. Режим «холостого хода». Режим «короткого замыкания». Режим согласованной нагрузки	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
5	Сигналы в реальных линиях с потерями Распространение сигналов в реальных линиях. Входное сопротивление нагруженной линии. Реальная линия с потерями. Линия с малыми потерями. Неискажающая линия. Скин-эффект	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
5	Векторный анализатор цепей. Электронная калибровка Изучение основных возможностей анализатора цепей. Приобретение практического навыка подготовки установки к измерениям и электронной калибровки измерительного тракта	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
6	Основы геометрической калибровки зондов Изучение основных элементов и принципов работы зондовой станции; приобретение практического навыка позиционирования и геометрической калибровки зондов	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
6	ABCD - Матрицы. Матрица рассеяния Понятие ABCD - Матрицы. Матрица рассеяния. Матричная форма записи S-параметров четырехполюсника. Понятие ориентированного графа	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
9-12	Измерения СВЧ параметров	12	12	0
7	Линии передачи сигналов Коаксиальная линия. Двухпроводная линия. Прямоугольный волновод. Круглый волновод. Симметричная полосковая линия. Микрополосковая линия. Четная и нечетная моды в связанных полосковых линиях.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
7	LRRM калибровка СВЧ зондов Приобретение практических навыков калибровки	Всего аудиторных часов		
		0	2	0

	измерительного тракта для проведения высокочастотных измерений на пластине	Онлайн	0	0	0
8	Измерение вольт-амперных характеристик СВЧ транзистора Приобретение практических навыков по измерению ВАХ СВЧ транзистора с использованием зондовой станции	Всего аудиторных часов	0	2	0
		Онлайн	0	0	0
		0	0	0	
8	Аттенюаторы Общие понятия. Резистивная Г-образная согласующая цепь. Согласующие цепи на реактивных элементах. Согласующие Т-и П-образные цепи	Всего аудиторных часов	2	0	0
		Онлайн	2	0	0
		2	0	0	
9	Калибровка и векторная коррекция погрешности измерений TRL-калибровка. SOLR – калибровка. QSOLT калибровка. Электронная калибровка. Погрешности измерений	Всего аудиторных часов	2	0	0
		Онлайн	2	0	0
		2	0	0	
9	Измерение S-параметров СВЧ транзистора Приобретение навыков по сборке испытательного стенда и проведения измерений S-параметров планарного транзистора	Всего аудиторных часов	0	2	0
		Онлайн	0	0	0
		0	0	0	
10	Измерение мощности СВЧ транзистора Приобретение практических навыков по измерению мощности СВЧ транзистора с использованием зондовой станции	Всего аудиторных часов	0	2	0
		Онлайн	0	0	0
		0	0	0	
10	Измерение мощности Основные понятия. Единицы измерения. Категории мощности. Типы мощностных сенсоров. Основные ошибки при измерении мощности	Всего аудиторных часов	2	0	0
		Онлайн	2	0	0
		2	0	0	
11	Шумовые параметры Коэффициент шума и шумовые параметры. Параметры нелинейных искажений. Пассивные СВЧ устройства. Активные СВЧ устройства	Всего аудиторных часов	2	0	0
		Онлайн	2	0	0
		2	0	0	
11	Измерение параметров СВЧ транзистора в импульсном режиме Приобретение практических навыков по измерению параметров СВЧ транзистора (ВАХ, S-параметры) в импульсном режиме с использованием зондовой станции	Всего аудиторных часов	0	2	0
		Онлайн	0	0	0
		0	0	0	
12	Измерение Load pull характеристик СВЧ транзистора Приобретение практических навыков по измерению Load pull характеристик СВЧ транзистора с использованием зондовой станции	Всего аудиторных часов	0	2	0
		Онлайн	0	0	0
		0	0	0	
12	Измерение параметров усилителей Предварительные измерения. Оптимизация настроек. Калибровка. S-параметры, коэффициент усиления и возвратные потери, мощность на входе и выходе. Анализ результатов измерений. Переменный трансформатор импеданса (тюнер). Автоматизированные тюнерные системы. Load-pull характеристики	Всего аудиторных часов	2	0	0
		Онлайн	2	0	0
		2	0	0	

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс

ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>7 Семестр</i>
1	Измерение слоевого сопротивления металлического слоя с помощью зондовой станции ЕР6 Приобретение практических навыков по измерению параметров тестовой структуры на пластине - слоевого сопротивления металлического слоя
2	Измерение переходного сопротивления омических контактов с использованием метода TLM Приобретение практических навыков по измерению параметров переходного сопротивления омических контактов на полупроводниковой пластине
3	Измерение вольт-фарадных характеристик МДП-структур Приобретение практических навыков по измерению параметров тестовых структур на полупроводниковой пластине методом ВФХ
4	Измерение статических параметров транзистора с высокой подвижностью электронов (HEMT) Приобретение практических навыков по измерению статических параметров транзистора с высокой подвижностью электронов (HEMT) на пластине (крутизна, напряжение отсечки, ток насыщения)
5	Векторный анализатор цепей. Электронная калибровка Изучение основных возможностей анализатора цепей. Приобретение практического навыка подготовки установки к измерениям и электронной калибровки измерительного тракта
6	Основы геометрической калибровки зондов Изучение основных элементов и принципов работы зондовой станции; приобретение практического навыка позиционирования и геометрической калибровки зондов
7	LRRM калибровка СВЧ зондов Приобретение практических навыков калибровки измерительного тракта для проведения высокочастотных измерений на пластине
8	Измерение вольт-амперных характеристик СВЧ транзистора Приобретение практических навыков по измерению ВАХ СВЧ транзистора с использованием зондовой станции
9	Измерение S-параметров СВЧ транзистора Приобретение навыков по сборке испытательного стенда и проведения измерений S-параметров планарного транзистора
10	Измерение мощности СВЧ транзистора Приобретение практических навыков по измерению мощности СВЧ транзистора с использованием зондовой станции
11	Измерение параметров СВЧ транзистора в импульсном режиме Приобретение практических навыков по измерению параметров СВЧ транзистора (ВАХ, S-параметры) в импульсном режиме с использованием зондовой станции

12	Измерение Load pull характеристик СВЧ транзистора Приобретение практических навыков по измерению Load pull характеристик СВЧ транзистора с использованием зондовой станции
----	--

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы используются следующие технологии:

- лекции по курсу традиционного типа, а также с использованием средств видеоконференцсвязи типа Zoom или аналогичных программ;
- лабораторные работы в лаборатории дизайна и СВЧ измерений НИЯУ МИФИ;
- самостоятельная работа: изучение дополнительных материалов.

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-13	З-ПК-13	Э, Кл-8, Кл-12
	У-ПК-13	Э, Кл-8, Кл-12
	В-ПК-13	Э, Кл-8, Кл-12
ПК-2	З-ПК-2	Э, Кл-8, Кл-12
	У-ПК-2	Э, Кл-8, Кл-12
	В-ПК-2	Э, Кл-8, Кл-12
ПК-3	З-ПК-3	Э, Кл-8, Кл-12
	У-ПК-3	Э, Кл-8, Кл-12
	В-ПК-3	Э, Кл-8, Кл-12
ПК-7.3	З-ПК-7.3	Кл-8, Кл-12
	У-ПК-7.3	Кл-8, Кл-12
	В-ПК-7.3	Кл-8, Кл-12
ПК-9	З-ПК-9	Э, Кл-8, Кл-12
	У-ПК-9	Э, Кл-8, Кл-12
	В-ПК-9	Э, Кл-8, Кл-12

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех	Оценка	Требования к уровню освоению
--------------	----------------	--------	------------------------------

	балльной шкале	ECTS	учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Д 18 Измерения в радиоэлектронике : учебное пособие для вузов, Данилин А. А., Лавренко Н. С., Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. 621.38 Л20 Измерения на сверхвысоких частотах : учеб. пособие, Лалаян М.В., Собенин Н.П., Прокопенко А.В., Москва: МИФИ, 2006
3. ЭИ Д 24 Устройства приема и обработки сигналов : учебное пособие, Дворников С. В., Крячко А. Ф., Мичурин С. В., Санкт-Петербург: Лань, 2020

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.31 И37 Измерения на миллиметровых и субмиллиметровых волнах : Методы и техника, , М.: Радио и связь, 1984

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Анализатор полупроводниковых устройств (Корпус 44а)
2. Комплекс измерений S-, X-параметров в полосе от 0,01 до 50 ГГц (Корпус 44а)
3. Зондовая станция PM8 (Корпус 44а)
4. Зондовая станция EP6 (Корпус 44а)

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

1. Работа над конспектом лекции.

Основу теоретического обучения студентов составляют лекции. Они дают систематизированные знания студентам о наиболее сложных и актуальных проблемах изучаемой дисциплины. На лекциях особое внимание уделяется не только усвоению студентами изучаемых проблем, но и стимулированию их активной познавательной деятельности, творческого мышления, развитию научного мировоззрения, профессионально-значимых свойств и качеств. Лекции по дисциплине «Измерения в микро- и нанозлектронике» проводятся в виде аудиторных занятий, либо с использованием средств видеоконференцсвязи.

Осуществляя учебные действия на лекционных занятиях, студенты должны вести конспект, добиваться понимания изучаемого предмета, применения знаний на практике, при решении учебно-профессиональных задач. В случае недопонимания какой-либо части предмета следует задать вопрос в установленном порядке преподавателю. В процессе работы на лекции необходимо так же выполнять в конспектах модели изучаемого предмета (рисунки, схемы, чертежи и т.д.), которые использует преподаватель.

Работу над конспектом следует начинать с его доработки, желательно в тот же день, пока материал еще легко воспроизводим в памяти (через 10 часов после лекции в памяти остается не более 30-40 % материала). С целью доработки необходимо прочитать записи, восстановить текст в памяти, а также исправить описки, расшифровать не принятые ранее сокращения, заполнить пропущенные места, понять текст, вникнуть в его смысл. Далее прочитать материал по рекомендуемой литературе, разрешая в ходе чтения возникшие ранее затруднения, вопросы, а также дополняя и исправляя свои записи. Записи должны быть наглядными, для чего следует применять различные способы выделений. В ходе доработки конспекта углубляются, расширяются и закрепляются знания, а также дополняется, исправляется и совершенствуется конспект.

Подготовленный конспект и рекомендуемая литература используются при подготовке к экзамену. Примеры, задачи, вопросы по теме являются средством самоконтроля.

Непременным условием глубокого усвоения учебного материала является знание основ, на которых строится изложение материала. Обычно преподаватель напоминает, какой ранее изученный материал и в какой степени требуется подготовить к очередному занятию. Обращение к ранее изученному материалу не только помогает восстановить в памяти известные положения, выводы, но и приводит разрозненные знания в систему, углубляет и расширяет их. Каждый возврат к старому материалу позволяет найти в нем что-то новое, переосмыслить его с иных позиций, определить для него наиболее подходящее место в уже имеющейся системе знаний. Неоднократное обращение к пройденному материалу является наиболее рациональной формой приобретения и закрепления знаний.

2. Подготовка к лабораторной работе

При подготовке к лабораторным работам студент должен изучить теоретическую часть объекта исследований. Для успешного освоения материала студентам рекомендуется сначала ознакомиться с учебным материалом, изложенным в лекциях и основной литературе, затем выполнить самостоятельные задания, при необходимости обращаясь к дополнительной литературе.

Для закрепления пройденного материала студенту необходимо подготовить отчет по предыдущей работе и ответить на вопросы преподавателя.

3. Самостоятельная работа

Самостоятельная работа предполагает работу с основной и дополнительной литературой. Если содержание материала легко усваиваемое, можно ограничиться составлением плана. Если материал содержит новую и трудно усваиваемую информацию, целесообразно его законспектировать. Конспект – это систематизированное, логичное изложение материала источника.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

На первом занятии преподаватель:

знакомит студентов с целями и задачами преподаваемой дисциплины, определяет ее место в образовательной программе, обозначает междисциплинарные связи;

обеспечивает согласование содержания и устранение дублирования учебного материала с другими дисциплинами образовательной программы;

уточняет наполнение лекций и планы практических (семинарских) занятий в соответствии с рабочей программой дисциплины, с учетом контингента и уровня подготовки студентов;

рекомендует литературу с выделением основного учебника курса;

доводит до сведения студентов систему оценки знаний.

Занятия по дисциплине «Измерения в микро- и наноэлектронике» состоят из трех частей:

- лекции;
- лабораторные работы;
- самостоятельная работа студентов.

1. Лекционные занятия представляет собой систематическое, последовательное, монологическое изложение преподавателем учебного материала, как правило, теоретического характера. Цель занятий – организация целенаправленной познавательной деятельности

студентов по овладению программным материалом по теме «Измерения в микро- и наноэлектроника».

Структура лекции: вступление, основная часть, заключение.

Во вступлении преподаватель отмечает цель лекции и ее план.

В основной части приводится изложение содержания лекции в строгом соответствии с предложенным планом.

Формат лекции может быть, как очный, так и дистанционный с использованием средств видеоконференцсвязи.

В заключении подводится общий итог лекции, обобщение материала, формулировка выводов по теме лекции; ответы на вопросы студентов.

2. Лабораторные занятия - одна из форм систематических занятий, на которых студенты под руководством преподавателя приобретают практические умения и навыки по проведению измерений приборов микро- и наноэлектроники, входящей в учебный план.

Цель лабораторных занятий - предоставление возможностей для овладения практическими навыками по измерениям приборов микро- и наноэлектроники.

Преподаватель составляет план каждого лабораторного занятия, в который входит:

ознакомление студентов с техникой безопасности данной лаборатории;

описание измерительного стенда, оборудования;

определение целей и задач работы;

теоретического описания объекта исследований;

описание хода выполнения работы;

подбор литературы, рекомендуемой студентам к данной теме.

3. Самостоятельная работа - учебная, учебно-исследовательская работа студентов, выполняется во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя. Самостоятельная работа предполагает формирование и усвоение теоретического материала на базе изучения и систематизации материалов учебников, научных публикаций, нормативно-справочных материалов с использованием информационно-поисковых систем, компьютерной сети Интернет.

Роль преподавателя в организации и руководстве самостоятельной работой студентов включает:

четкое планирование содержания и объема самостоятельной работы;

организацию, контроль и анализ результатов самостоятельной работы.

В ходе руководства самостоятельной работой студентов преподаватель приобщает их к научному творчеству, поиску и решению актуальных современных проблем. Преподаватель должен обеспечить мотивацию индивидуальной самостоятельной работы студентов посредством проверки промежуточных результатов, консультаций, самопроверки.

Автор(ы):

Рыжук Роман Валериевич

