

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Методы измерения параметров полупроводниковых структур

Уровень высшего образования
Магистратура

Направление подготовки / специальность
03.04.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы
Физическая электроника

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.03 Методы измерения параметров полупроводниковых структур относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области радиофизики, микро- и нанoeлектроники, мощной электроники при решении задач своей профессиональной деятельности	<p>ПК-1.1: Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач</p> <p>ПК-1.2: Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий</p>	<p>ПК-1.1: Знать основную теорию р-п перехода, биполярного и полевого транзистора Уметь применять теорию р-п перехода для исследования параметров полупроводниковых структур</p> <p>ПК-1.2: Знать методы обработки результатов измерений Уметь применять методы обработки измерений параметров полупроводниковых структур Владеть навыком автоматизации измерений параметров изделий микроэлектроники.</p>	Собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы
ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области радиофизики, микро- и нанoeлектроники, мощной	<p>ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области микро- и нанoeлектроники, мощной электроники, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов</p> <p>ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в</p>	<p>ПК-2.1: Знать основные численные методы расчета параметров структур и транзисторов Уметь проводить моделирование.</p> <p>ПК-2.2: Уметь выбирать численные методы расчета параметров структур и транзисторов для конкретной задачи Владеть навыком расчета параметров</p>	Собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы

электроники и оформлять их результаты	соответствии с типом поставленной задачи ПК-2.3: Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР ПК-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области микро- и наноэлектроники, мощной электроники	полупроводниковых структур в квазигидродинамическом приближении. ПК-2.3: Знать требования к проведению измерений параметров полупроводниковых приборов ПК-2.4: Уметь проводить анализ данных по исследуемым полупроводниковым структурам		
ПК-3: Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок	ПК-3.1: Использует знание нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР, применяет заданные требования и правила при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях ПК-3.2: Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу ПК-3.3: Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика	ПК-3.1: Знать основные методы написания протоколов и отчетов по измерениям ПК-3.2: Уметь представлять в наглядном виде результаты исследований параметров полупроводниковых структур ПК-3.3: Уметь оформлять рукописи, протоколы, отчеты Владеть навыками оформления протоколов и отчетов	Собеседование	Экзамен: Практическое задание

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	2

самостоятельная работа	29
Промежуточная аттестация	45 Экзамен

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	О Ф О	О Ф О	О Ф О	О Ф О	О Ф О
Тема 1 Кристаллическая структура твердого тела, статистика носителей заряда, процессы переноса в неоднородных полупроводниках	6	4		4	2
Тема 2 Кристаллическая структура твердого тела, статистика носителей заряда, процессы переноса в неоднородных полупроводниках	8	4		4	4
Тема 3 Биполярный транзистор. Работа биполярных транзисторов в схемах. Измерения статических параметров биполярных транзисторов	8	4		4	4
Тема 4 Полевой транзистор с р-п переходом и барьером Шоттки, полевой транзистор металл-диэлектрик-полупроводник, полевой транзистор металл-окисел-полупроводник. Измерения параметров полевых транзисторов с управляющим р-п переходом	8	4		4	4
Тема 5 Основы метрологии. Виды погрешностей. Методы минимизации погрешностей.	6	3		3	3
Тема 6 Основы метрологии. Виды погрешностей. Методы минимизации погрешностей	6	3		3	3
Тема 7 Основы метрологии. Виды погрешностей. Методы минимизации погрешностей	6	3		3	3
Тема 8 Методы обработки и анализа результатов измерений параметров полупроводниковых приборов.	6	3		3	3
Тема 9 Численные методы расчета параметров структур и транзисторов	7	4		4	3
Аттестация	45				
КСР	2			2	
Итого	108	32	0	34	29

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Виды погрешностей, возникающих при измерении параметров полупроводниковых приборов
2. Методы минимизации погрешностей
3. Нормальные условия для проведения измерений.
4. Методы обработки и анализа результатов измерений
5. Методы измерения подвижности носителей заряда в полупроводниковых приборах

6. Методы измерения профилей распределения электронов в полупроводниковых структурах.
7. Методы анализа дефектов в полупроводниковых структурах.
8. Принцип работы p-n- полупроводникового контакта и диода Шоттки
9. Вольт-фарадный метод.
10. Локально-полевое, диффузионно-дрейфовое приближение
11. Квазигидродинамический метод
12. Метод Монте-Карло

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

1. ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ И МЕТОДЫ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ. Авторы: Е.В. Волкова, А.С. Пузанов, С.В. Оболенский, Е.А. Тарасова: Учебное пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2020. – 78 с.
2. ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ ТРАНЗИСТОРОВ. Авторы: .А. Тарасова, А.С. Пузанов, Е.В. Волкова, С.В. Оболенский, Е.С. Оболенская: Учебное пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2019. – 88 с.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

Вопросы для оценки компетенции «ПК-1»:

1. Виды погрешностей и способы повышения точности измерений.
2. Принципы автоматизации, основы построения управляющих программ, управляющая программа прибора для измерений вольт-фарадных, вольт-амперных характеристик.
3. Вольт-фарадные характеристики приборов, прямое обратное смещение.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. Измерение вольт-фарадных характеристик в диапазоне температур. Математическая обработка результатов измерений.

2. Расчет профиля распределения профиля концентрации и подвижности электронов в полупроводниковых диодах.
3. Метод эквивалентных схем.
4. Физико-топологические методы. Метод Монте-Карло, квазигидродинамическое приближение.

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

1. Измерение вольт-фарадных характеристик в диапазоне температур. Математическая обработка результатов измерений.
2. Расчет профиля распределения профиля концентрации и подвижности электронов в полупроводниковых диодах.
3. Метод эквивалентных схем.
4. Физико-топологические методы. Метод Монте-Карло, квазигидродинамическое приближение.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы

		знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Виды погрешностей и способы повышения точности измерений.
2. Методы расчета абсолютных и относительных погрешностей.
3. Виды измерений
4. Аппроксимация результатов измерений
5. Метод вторичной ионной масс-спектрометрии
6. Вольт-фарадный метод
7. Метод электрохимического профилирования
8. DLTS метод
9. Вольт-фарадные характеристики диодов Шоттки
10. Методы автоматизации экспериментальных исследований
11. Методы расчета профиля распределения профиля концентрации и подвижности электронов в

полупроводниковых диодах.
12.Метод эквивалентных схем.
13.Физикотопологические методы.
14.Квазигидродинамическое приближение.
15.Метод Монте-Карло,

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Метод вторичной ионной масс-спектрометрии
2. Вольт-фарадный метод
3. Метод электрохимического профилирования
4. DLTS метод
5. Вольт-фарадные характеристики диодов Шоттки
6. Методы автоматизации экспериментальных исследований
7. Методы расчета профиля распределения профиля концентрации и подвижности электронов в полупроводниковых диодах.
8. Метод эквивалентных схем.
9. Физикотопологические методы.
10.Квазигидродинамическое приближение.
11.Метод Монте-Карло.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена

Оценка	Критерии оценивания
	дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-3

Составить отчет о проделанной в процессе освоения курса работе.

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»

Оценка	Критерии оценивания
	«удовлетворительно»
удовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «неудовлетворительно»
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Ковтонюк Николай Филиппович. Измерения параметров полупроводниковых материалов. - М. : Металлургия, 1970. - 429 с. : ил. - 1.28., 5 экз.
2. Зи С. М. Физика полупроводниковых приборов : в 2 кн. [Кн.] 1 / пер. с англ. В. А. Гергеля, В. В. Ракитина ; под ред. Р. А. Суриса. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Мир , 1984. - 455 с. : ил. - 2.20., 16 экз.

Дополнительная литература:

1. Шалимова Клавдия Васильевна. Физика полупроводников : [учеб. для вузов по специальности "Полупроводниковые и микроэлектрон. приборы"]. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергоатомиздат, 1985. - 391 с. : ил. - 1.20., 38 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Silvaco T-CAD

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Тарасова Елена Александровна, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Оболенский Сергей Владимирович, доктор технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18.12.2023, протокол № 09/23.