

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Баламирзоев Назим Лиодинович
Должность: Ректор
Дата подписания: 22.03.2024 14:25:09
Уникальный программный ключ:
5cf0d6f89e80f49a334f6a4ba58e91f3326b9926

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет»

Кафедра РТиМ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

ДИСЦИПЛИНЫ

« 2.1.1.3. Электронная компонентная база микро-и нанoeлектроники, квантовых устройств »

Уровень высшего образования

ПОДГОТОВКА КАДРОВ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ

Группа научных специальностей

2.2. Электроника, фотоника, приборостроение и связь
(шифр и наименование группы научных специальностей)

Научная специальность

2.2.2. Электронная компонентная база микро-и нанoeлектроники, квантовых устройств
(шифр и наименование научной специальности образовательной программы)

Форма обучения

Очная

Махачкала 2023

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры радиотехники, телекоммуникаций и микроэлектроники

протокол № 10 от "15" 06 2023 г.

Заведующий кафедрой

РТиМ

наименование кафедры



подпись

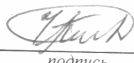
Гаджиев Х.М.

расшифровка подписи

Исполнители:

к.т.н., доцент

должность



подпись

Челушкина Т.А.

расшифровка подписи

к.ф.-м.н., доцент

должность



подпись

Гаджиева С.М.

расшифровка подписи

1 Цели и задачи освоения дисциплины

Цель (цели) освоения дисциплины:

Основной целью дисциплины является изучение аспирантами специальных вопросов квантовой электроники в таких областях, как гетеротранзисторы, элементы с высокой подвижностью носителей зарядов, нанoeлектронные полевые транзисторы, а также перспективные элементы и приборы нано-электроники. Также рассматриваются фундаментальные ограничения на плотность размещения элементов микро- и нанoeлектроники и оптимизации степени интеграции.

Включает следующие направления исследований: Разработка и исследование физических основ создания новых и совершенствования существующих приборов, интегральных схем, изделий микро- и нанoeлектроники, твердотельной электроники, дискретных радиоэлектронных компонентов, микроэлектромеханических систем (МЭМС), нанoeлектромеханических систем (НЭМС), квантовых устройств, включая оптоэлектронные приборы и преобразователи физических величин. Исследование и разработка физических и математических моделей изделий, в том числе для систем автоматизированного проектирования. Исследование и разработка схемотехнических основ создания, конструкций и методов совершенствования изделий. Исследование, моделирование и разработка технологических процессов и маршрутов изготовления, методов измерения характеристик и совершенствования изделий. Исследование, проектирование и моделирование изделий, исследование их функциональных и эксплуатационных характеристик, включая вопросы качества, долговечности, надежности и стойкости к внешним воздействующим факторам, а также вопросы их эффективного применения.

Задачи:

- изучение основных понятий и представлений современной микро- и нанoeлектроники; получение знаний о физической сущности процессов и явлений, протекающих в системах микро- и нанoeлектроники; принципах функционирования основных приборов микро- и нанoeлектроники;
- формирование умения правильно использовать закономерности для реализации потенциальных возможностей материалов и структур при проектировании и создании систем микро- и нанoeлектроники;
- ознакомление с историей, достижениями и тенденциями развития микроэлектроники, многообразием различных классов интегральных микросхем (ИМС);
- ознакомление с физическими принципами работы, характеристиками и параметрами ИМС, моделями процессов и явлений, лежащих в основе работы ИМС;
- расширение научного кругозора и эрудиции на базе изучения законов физики низкоразмерных полупроводниковых структур для последующего использования их при создании приборов нанoeлектроники и в технологии микро- и нанoeлектроники. – расширение научного кругозора и эрудиции аспирантов на базе изучения фундаментальных закономерностей физики полупроводников и освоение способов практического использования свойств полупроводниковых материалов;
- развитие понимания связи физических свойств полупроводников с параметрами изделий микроэлектроники, использующих различные полупроводниковые материалы;
- практическое овладение навыками физического эксперимента и основными методиками по изучению свойств полупроводников и приборную структуру на их основе;
- освоение навыков самостоятельной работы с литературой; методическими и аппаратными средствами реализации систем микро- и нанoeлектроники.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к обязательным дисциплинам (модулям) Образовательного компонента «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Дисциплина базируется на знаниях, полученных аспирантами в результате освоения образовательной программы высшего образования второго уровня (магистратура, специалитет).

Дисциплина направлена на сдачу кандидатского минимума, осуществление научно-исследовательской деятельности аспиранта по направленности программы аспирантуры и подготовку научного доклада о результатах научно-квалифицированной работы (диссертации).

Пререквизиты дисциплины: 2.1.1.1 *Иностранный язык*, 2.1.1.2 *История и философия науки*
Постреквизиты дисциплины: 2.2.1(П) *Педагогическая практика, Итоговая аттестация.*

3. Требования к результатам обучения по дисциплине

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих результатов обучения

Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы ее освоения

Знать:

- физические принципы работы основных функциональных элементов наноэлектроники; современные методы создания и исследования структур электронной компонентной базы микро- и наноэлектроники, квантовых устройств;
- методы теоретических и экспериментальных исследований в области микро- и наноэлектроники и квантовых устройств;
- новые методы исследования в области микро- и наноэлектроники, квантовых устройств;
- физические принципы работы, характеристики и параметры ИМС;
- физические модели процессов и явлений, лежащих в основе принципа действия ИМС;

Уметь:

- критически анализировать и оценивать современные научные достижения в области микро- и наноэлектроники и квантовых устройств;
- применять навыки проектирования, расчета, моделирования и конструирования полупроводниковых приборов и интегральных устройств;
- применять методы диагностики для решения конкретных научных и технических задач при исследовании электронной компонентной базы микро- и наноэлектроники, квантовых устройств;
- рассчитывать основные параметры структур электронной компонентной базы микро- и наноэлектроники, квантовых устройств;
- определять основные параметры структур электронной компонентной базы микро- и наноэлектроники, квантовых устройств из экспериментальных данных;

Владеть:

- методами решения исследовательских и практических задач;
- данными о фундаментальных закономерностях физики полупроводников;
- навыками (опытом деятельности) использования экспериментальной техники для измерения параметров и характеристик электронной компонентной базы микро- и наноэлектроники, квантовых устройств;
- навыками разработки моделей и методик проектирования, расчета, моделирования и конструирования электронной компонентной базы микро- и наноэлектроники, квантовых устройств;
- методами исследования физических свойств наноструктур;
- методами теоретического анализа физических процессов наноэлектроники.

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц (108 академических часа).

Вид работы	4 семестр	всего
Общая трудоёмкость	108	108
Контактная работа:	51	51
Лекции (Л)	17	17
Практические занятия (ПЗ)	34	34
Самостоятельная работа: - выполнение индивидуального творческого задания (ИТЗ); - выполнение расчетно-графического задания (РГЗ); - написание реферата (Р); - написание эссе (Э); - самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий); - подготовка к практическим занятиям; - подготовка к коллоквиумам; - подготовка к рубежному контролю и т.п.)	57	57
Вид итогового контроля (зачет, экзамен, дифференцированный зачет)	экзамен	

Разделы дисциплины, изучаемые в 4 семестре

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов				
		всего	аудиторная работа			внеауд. работа
			Л	ПЗ	ЛР	
1.	Основные понятия микро- и нанoeлектроники		2	4		6
2.	Элементы интегральных микросхем		2	4		6
3.	Биполярные интегральные схемы. Интегральные схемы на основе полевых транзисторов		2	4		6
4.	Элементы микро- и нанoeлектроники на основе гетеропереходов		2	4		6
5.	Элементы с высокой подвижностью носителей зарядов		2	4		7
6.	Квантовая электроника		2	4		8
7.	Квантоворазмерные структуры и их приборное применение.		2	4		6
8.	Приборы нанoeлектроники		2	4		8
9.	Направления и тенденции развития микро и нанoeлектроники		1	2		4
	Итого:		17	34		57
	Всего:		17	34		57

4.2 Содержание разделов дисциплины

1. Раздел: « Основные понятия микро- и нанoeлектроники»

Микроэлектроника и нанoeлектроника, сравнительный анализ терминологии. Классификация элементов и приборов нанoeлектроники. Важнейшие эффекты и процессы, проявляющиеся в элементах нанoeлектроники. Размерные эффекты. Эффекты масштабирования. Физические ограничения нанoeлектроники. Фундаментальные ограничения на миниатюризацию элементов микроэлектроники и нанoeлектроники. Двумерный электронный газ. Квантовые нити (проволоки). Вискеры. Квантовые точки.

2. Раздел: «Элементы интегральных микросхем»

Классификация микросхем по функциональным и конструкторско-технологическим признакам. Элементы и компоненты микросхем. Активные элементы интегральных микросхем. Особенности структуры биполярных транзисторов полупроводниковых микросхем. Диодные структуры в микроэлектронике. Транзисторные структуры специального назначения: многоэмиттерные и многоколлекторные транзисторы, транзисторы с диодом Шоттки. Конструктивные особенности МДП транзисторов интегральных микросхем. Пассивные элементы интегральных микросхем. Полупроводниковые и пленочные резисторы. Конденсаторы и индуктивные элементы

3. Раздел: «Биполярные интегральные схемы. Интегральные схемы на основе полевых транзисторов»

Дифференциальные усилители. Операционные усилители. Интегральные аналоговые перемножители, аналоговые коммутаторы и ключи, интегральные стабилизаторы напряжения. Основные характеристики, физические процессы и применение МОП ИС. Логика р-МОП. Основные уравнения р-МОП-транзистора. Логика nМОП. Рабочие характеристики транзистора n-МОП в режиме обогащения. Основные уравнения транзистора типа n-МОП. Запоминающие устройства типа n-МОП. Логика КМОП. Характеристики КМОП-приборов. Сравнение структур КМОП и n-МОП. Приборы КМОП с кремниевыми затворами. Логические устройства типа КМОП-КНС и КМОП-КНД. Использование МОП-технологии в СБИС.

4. Раздел: «Элементы микро- и нанoeлектроники на основе гетеропереходов»

Зонная диаграмма изотипных и анизотипных гетероструктур. Выбор материалов для гетеропереходов. Элементы на основе гетеропереходов. Гетеротранзисторы на основе одинарного и множественных гетеропереходов. Характеристики и параметры биполярных гетеротранзисторов. Быстродействие гетеротранзисторов. Гетеротранзисторы на основе твердых растворов, обладающих повышенной подвижностью носителей зарядов. Преимущества и недостатки гетеротранзисторов.

5. Раздел: «Элементы с высокой подвижностью носителей зарядов»

Элементы с напряженными полупроводниковыми нанослоями. СВЧ-элементы на основе твердого раствора кремния-германия. Транзистор с высокой подвижностью электронов (НЕМТ). НЕМТ, выполненные на основе твердых растворов полупроводниковых соединений. Мощные транзисторы на двумерном электронном газе. НЕМТ, выполненные на основе нитрида галлия и алмаза. Использование в НЕМТ дельта-легированных слоев

6. Раздел: «Квантовая электроника»

Направления и тенденции развития квантовой электроники. Усиление и генерация оптического излучения, методы создания инверсии. Резонаторы оптического диапазона. Активные среды лазеров. Общие особенности и характеристики лазерного излучения. Твердотельные лазеры, типы, особенности устройства, основные характеристики, области применения. Полупроводниковые лазеры, типы, особенности устройства, основные характеристики, области применения.

7. Раздел: «Квантоворазмерные структуры и их приборное применение»

Определения, физические свойства и применение квантовых точек, ям, проволок, полупроводниковых сверхрешеток и их комбинаций, структур с двумерным электронным газом, магнитных сверхрешеток; модели «мелкой» и «глубокой» (широкой) квантовых ям; квантование зонного электронного спектра; сверхрешетки и блоховские осцилляции; квантовый целочисленный и дробный эффекты Холла (дробные заряды и промежуточная статистика) в двумерном электронном газе; использование гигантского магниторезистивного эффекта для конструирования приборов нового поколения; основные положения теории «фазонов» и самоорганизации структур нанoeлектроники; возможности самосборки элементов устройств низкоразмерных полупроводниковых приборов.

8. Раздел: «Приборы нанoeлектроники»

Гетероструктурные транзисторы. Аналоговые транзисторы. Транзисторы на квантовых эффектах. Одноэлектроника. Одноэлектронный транзистор. Электроника на основе эффекта Джозефсона. Элементы на основе фуллеренов и графенов. Графитовые нанотрубки и их применение в нанoeлектронике. Полимерные нанотранзисторы. Микромеханические транзисторы. Элементы

нанoeлектроники, использующие эффект баллистического транспорта электронов. Элементы на основе резонансного туннелирования.

9. Раздел: «Направления и тенденции развития микро и нанoeлектроники»

Полимерная электроника. Молекулярная электроника. Микросистемная техника. Логические микросхемы на базе неклассических КМОП-структур и новых логических технологий. Микросхемы памяти, формируемые в процессах КМОП-технологий и на базе других технологических платформ. Нанoeлектронные ключи. Атомные переключающие устройства. Элементы нанoeлектроники на основе отдельных атомов и молекул. Спинтроника. Гигантское магнитосопротивление. Магнитная память. Энергонезависимая память на спин-зависимом туннелироваб 54 60 нии. Квантовые компьютеры. Принципы организации и функционирования. Кубиты. Элементы квантовых компьютеров.

4.3 Практические занятия (семинары)

№ занятия	№ раздела	Тема	Кол-во часов
1.	1.	Квантовые ямы, периодические квантовые ямы. Полупроводниковые сверхрешетки, сверхрешётки полупроводник - диэлектрик, напряжённые сверхрешётки.	4
2.	2.	Пассивные элементы интегральных микросхем. Полупроводниковые и пленочные резисторы. Конденсаторы и индуктивные элементы	4
3.	3.	Использование МОП-технологии в СБИС	4
4.	4.	Гетеротранзисторы на основе твердых растворов, обладающих повышенной подвижностью носителей зарядов. Преимущества и недостатки гетеротранзисторов.	4
5.	5.	НЕМТ, выполненные на основе нитрида галлия и алмаза. Использование в НЕМТ дельта-легированных слоев	4
6.	6.	Полупроводниковые лазеры, типы, особенности устройства, основные характеристики, области применения.	4
7.	7.	Использование гигантского магниторезистивного эффекта для конструирования приборов нового поколения; основные положения теории «фазонов» и самоорганизации структур нанoeлектроники; возможности самосборки элементов устройств низкоразмерных полупроводниковых приборов	4
8.	8.	Туннельный транзистор. Кулоновская блокада	4
9.	9.	Кубиты. Элементы квантовых компьютеров.	2
		Итого:	34

5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

5.1 Основная литература

1. **Смирнов Ю.А.** Основы nano- и функциональной электроники: Учеб. пособие / Ю.А. Смирнов, С.В. Соколов, Е.В. Титов. - 2-е изд., испр. - СПб. : Лань, 2013. - 320 : ил. - (Учебни-ки для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1378-2
2. **Смирнов Ю.А.** Основы nano- и функциональной электроники [Электронный ресурс] / Ю.А. Смирнов, С.В. Соколов, Е.В. Титов. - 2-е изд., испр. – СПб.: Лань, 2021. - 320 с. - Книга из коллекции Лань - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-8114-1378-2. URL: <https://e.lanbook.com/book/168521>
3. **Ефимов И.Е.** Основы микроэлектроники: Учебник / И.Е. Ефимов, И.Я. Козырь. - 3-е изд., стереотип. - СПб.: Лань, 2008. - 384 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-0866-5

4. **Ефимов И.Е.** Основы микроэлектроники [Электронный ресурс] / И.Е. Ефимов, И.Я. Ко-зырь. - 3-е изд. - СПб.: Лань, 2021. - 384 с. - Книга из коллекции Лань - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-8114-0866-5. URL: <https://e.lanbook.com/book/167727>
5. **Смирнов Ю.А.** Основы микроэлектроники и микропроцессорной техники [Текст] : учеб. пособие \ Ю.А. Смирнов. - 2-е изд., испр. - СПб.; М.; Краснодар : Лань, 2013 (Чехов : Первая Образцовая тип., фил. "Чеховский Печатный Двор", 2013). - 495 с. : ил. - Библиогр. в конце глав. - ISBN 978-5-8114-1379-9
6. **Смирнов Ю.А.** Основы микроэлектроники и микропроцессорной техники [Электронный ресурс] / Ю.А. Смирнов, С.В. Соколов, Е.В. Титов. - 2-е изд., испр. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 496 с. - Книга из коллекции Лань - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-8114-1379-9. URL: <https://e.lanbook.com/book/168550>
7. **Лазеры: применения и приложения** [Электронный ресурс] / А.С. Борейшо, В.А. Борейшо, И.М. Евдокимов, С.В. Ивакин – СПб.: Лань, 2021. - 520 с. - Книга из коллекции Лань - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-8114-2234-0. URL: <https://e.lanbook.com/book/168977>
8. **Петров К.С.** Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника : учеб. пособие. - СПб. : Питер, 2006. - 522 с. : ил. - ISBN 5-94723-378-9

5.2 Дополнительная литература

9. **Дробот П.Н.** Нанoeлектроника [Электронный ресурс] : учеб. пособие / П.Н. Дробот. - Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2016. - 286 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/72141.html>
10. **Драгунов В.П.** Микро- и нанoeлектроника [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.П. Драгунов; Д.И. Остертак. - Новосибирск : НГТУ, 2012. - 38 с. - ISBN 978-5-7782-2095-9. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=228941>
11. **Липатов Г.И.** Компоненты микросистемной техники [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Г.И. Липатов. - ФГБОУ ВО "Воронеж. гос. техн. ун-т", каф. полупроводниковой электроники и нанoeлектроники. - Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2019. - Электрон. текстовые и граф. данные (4,2 Мб) : ил. : табл. - Библиогр.: 4 назв. - ISBN 978-5-7731-0799-6.
12. **Свистова Т.В.** Основы микроэлектроники [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Т.В. Свистова. – Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГТУ», 2017. – 147 с.
13. **Рембеза С.И.** Введение в микроэлектронику и нанoeлектронику [Электронный ресурс]: учеб. пособие / С.И. Рембеза, Е.С. Рембеза. – Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГТУ», 2017. – 143 с.
14. **Рембеза С.И.** Низкоразмерные структуры для микро- и нанoeлектроники [Электронный ресурс]: учеб. пособие / С.И. Рембеза, Е.С. Рембеза, Н.Н. Кошелева. – Электрон. текстовые, граф. дан. (6,2 Мб). – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2015.

5.3 Периодические издания

Используемые электронные библиотечные системы:

- Модуль книгообеспеченности АИБС «МАРК SQL», код доступа: <http://bibl.cchgeu.ru/provision/struct/>;
- Университетская библиотека онлайн, код доступа: <http://biblioclub.ru/>;
- ЭБС Издательства «ЛАНЬ» в том числе к коллекциям «Инженерно-технические науки», «Физика», код доступа <http://e.lanbook.com/>;
- ЭБС IPRbooks, код доступа: <http://www.iprbookshop.ru/>;
- научная электронная библиотека eLIBRARY.RU, код доступа: <http://elibrary.ru/>.

5.4 Интернет-ресурсы

1. IEEEExplore <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=5503871>
2. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>
3. Электронно-библиотечная система <http://elanbook.com>
4. Электронно-библиотечная система <http://ibooks.ru>

5.5 Программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Программное обеспечение компьютеров для самостоятельной и аудиторной работы:

- Операционные системы семейства MSWindows;
- Пакет офисных программ LibreOffice;
- Программа просмотра файлов формата pdf Adobe Acrobat Reader;
- Интернет-браузеры Mozilla Firefox, Google Chrome;
- Математический пакет MathCad Express, Smath Studio;
- Система управления курсами Moodle;

Информационные справочные системы:

- портал федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования, код доступа <http://fgosvo.ru>;
- единое окно доступа к образовательным ресурсам, код доступа <http://window.edu.ru/>;
- открытый образовательный ресурс НИЯУ МИФИ, код доступа <http://online.mephi.ru/>;
- открытое образование, код доступа: <https://openedu.ru/>;
- физический информационный портал, код доступа: <http://phys-portal.ru/index.html>
- Профессиональные справочные системы «Техэксперт»: <https://cntd.ru>
- Электронная информационная образовательная среда ВГТУ <https://old.education.cchgeu.ru>
- Лаборатории электронных средств обучения, ЛЭСО ГОУ ВПО «СибГУТИ» www.labfor.ru

6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, для проведения групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Аудитории оснащены комплектами ученической мебели, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещение для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой, подключенной к сети "Интернет", и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ДГТУ.