



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Физический факультет



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
и инновациям

Ашурбеков Н.А.

«02» Июль 2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Электронный транспорт в полупроводниках и композиционных полупроводниковых структурах

по направлению подготовки: 03.06.01 – Физика и астрономия

Уровень образования: подготовка кадров высшей квалификации
(аспирантура)

Квалификация выпускника:

«Исследователь. Преподаватель – исследователь»

Форма обучения: Очная

Статус дисциплины:

Вариативная по выбору

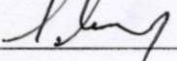
Махачкала 2018

Рабочая программа дисциплины «Электронный транспорт в полупроводниках и композиционных полупроводниковых структурах» составлена в 2018 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 - Физика и астрономия, квалификация выпускника: «Исследователь. Преподаватель-исследователь» от «30» июня 2014 г. № 867.

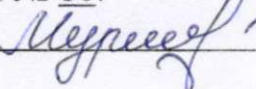
Разработчик: кафедра инженерной физики, Садыков Садык Абдулмуталимович, доктор физико-математических наук, профессор.

Рабочая программа дисциплины одобрена:

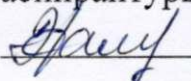
на заседании кафедры инженерной физики от «25» июня 2018 г., протокол №1а.

Зав. кафедрой  Садыков С.А.

на заседании Методической комиссии физического факультета от «28» июня 2018 г., протокол № 10.

Председатель  Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с Управлением аспирантуры и докторантуры «29» июня 2018 г.

 Э.Т. Рамазанова

Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Электронный транспорт в полупроводниках и композиционных полупроводниковых структурах» входит в Вариативную часть Блока 1 «Дисциплины по выбору» основной профессиональной образовательной программы 03.06.01 – Физика и астрономия. Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой инженерной физики.

Дисциплина охватывает круг вопросов, посвященных транспортным явлениям в полупроводниках и полупроводниковых композиционных структурах, таких как дрейфовая скорость и подвижность носителей заряда при воздействии электрического поля, баллистический транспорт в полупроводниках и субмикронных структурах, электрон-фононное взаимодействие в системах пониженной размерности, туннелирование через квантово-размерные структуры и др.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций:

универсальных: способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);

общепрофессиональных: способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);

профессиональных: способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования, и владением методами проведения патентных исследований при создании инновационных продуктов в области профессиональной деятельности (ПК-4).

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лекции, лабораторные занятия, самостоятельная работа.

1. Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает минимальные требования к знаниям и умениям обучающегося в аспирантуре по направлению подготовки кадров высшей квалификации и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа предназначена для преподавателей, ведущих данную дисциплину, и обучающихся направления подготовки 03.06.01 - Физика и астрономия, изучающих дисциплину «Электронный транспорт в полупроводниках и композиционных полупроводниковых структурах».

Программа разработана в соответствии с:

- Федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденным приказом Минобрнауки РФ от 30.07.2014г. №867;
- Образовательной программой по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации).
- Учебным планом университета по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденным в 2018г.

Объем дисциплины 2 зачетные единицы, в том числе в академических часах по видам учебных занятий

Семестр	Учебные занятия							Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен)
	в том числе:							
	всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем					СРС, в том числе экзамен	
		всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	КСР		
4,5	72	18	12	6	-		54	зачет

1. Цели освоения дисциплины

Цель изучения дисциплины «Электронный транспорт в полупроводниках и композиционных полупроводниковых структурах» состоит в формировании углубленных представлений об эффектах, обусловленных переносом носителей заряда, в том числе в полупроводниковых структурах пониженной размерности.

Задачи дисциплины: формирование и углубление целостных представлений о процессах переноса в полупроводниках и полупроводниковых композиционных структурах, в том числе в структурах пониженной размерности.

Аспиранты, завершившие изучение данной дисциплины, должны:

- знать: механизмы электропроводности в полупроводниках и полупроводниковых композиционных структурах;
- особенности транспортных явлений в структурах пониженной размерности;
- гальваномагнитные эффекты, в том числе в структурах пониженной размерности;
- уметь: использовать полученные теоретические знания для анализа явлений и эффектов в полупроводниках и полупроводниковых композиционных структурах, обусловленных электронным транспортом.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

В результате освоения программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Компетенции	Формулировка компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)
УК-1	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • базовые знания естественнонаучных дисциплин, включая знания о предмете и объектах изучения, методах исследования, современных концепциях и достижениях естественных наук; • методы анализа и обработки экспериментальных данных <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах, критически оценивать научную информацию.

		<ul style="list-style-type: none"> Анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать результаты реализации этих вариантов; при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях. навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.
ОПК-1	<p>способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> цели и задачи научных исследований по направлению деятельности, базовые принципы и методы их организации. современные способы использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> выбирать и применять в научно-исследовательской деятельности современные экспериментальные и информационно-коммуникационные технологии, расчетно-графические методы <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> навыками планирования научного исследования в своей профессиональной деятельности, проведения научных исследований с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий,
ПК-4	<p>способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования, и владением методами проведения патентных исследований при создании инновационных продуктов в области профессиональной деятельности</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> фундаментальные основы физики полупроводников, физические явления в полупроводниках и полупроводниковых композиционных структурах, лежащих в основе работы оптоэлектронных приборов. принципы работы оптоэлектронных приборов, в том числе приборов квантовой электроники. нормативные документы для патентных исследований в области оптики полупроводников и полупроводниковых композиционных структур.

		<p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> самостоятельно изучить и анализировать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры проводить патентные исследования при создании инновационных продуктов радиоэлектронной и оптической аппаратуры <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> навыками эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры методами проведения патентных исследований при создании инновационных продуктов современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры.
--	--	---

В результате изучения дисциплины обучающийся осваивает следующие компетенции:

Компетенция	Код по ФГОС	Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата)	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции
универсальные	УК-1	Демонстрирует способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях. [Устный опрос, письменный опрос
общепрофессиональные	ОПК-1	Демонстрирует способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	Устный опрос, письменный опрос
профессиональные	ПК-4	Демонстрирует способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования, и владением методами проведения патентных исследований при создании	Устный опрос, письменный опрос

Компетенция	Код по ФГОС	Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата)	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции
		инновационных продуктов в области профессиональной деятельности и экспериментального	

3. Место дисциплины в структуре ОПОП

Изучение данной дисциплины базируется на следующих дисциплинах, прохождении практик:

- Физика полупроводников и диэлектриков.
- Физика конденсированного состояния
- Техника физического эксперимента
- Научно-исследовательская деятельность (практика)

Для освоения учебной дисциплины, обучающиеся должны владеть следующими знаниями и компетенциями:

- основы зонной теории твердого тела
- физические процессы и явления в полупроводниках и полупроводниковых композиционных структурах

4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 академических часов.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Разделы и темы дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Контроль самост. раб.		
1	Кинетическое уравнение Больцмана. Электропроводность полупроводников.	4		2		4		16	Домашнее задание (ДЗ) Собеседование (С) Рейтинговая система (РС)
2	Явления переноса в сильных электрических полях. Туннелирование через квантово-	4		4				24	(ДЗ), (С), (РС)

	размерные структуры.							
3	Одноэлектронные проблемы.	5		2			14	(ДЗ), (С), (РС)
4	Гальваномагнитные эффекты Эффект Холла.	5		4		2	18	(ДЗ), (С), (РС)
	ИТОГО:			12		6	72	

4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).

Тема 1. Кинетическое уравнение Больцмана. Электропроводность полупроводников.

Кинетическое уравнение Больцмана. Время релаксации. Электропроводность. Электропроводность по примесной зоне. Прыжковая проводимость. Баллистический транспорт в полупроводниках с субмикронных приборах. Подвижность электронов в системах с селективным легированием. Особенности электрон-фононного взаимодействия в системах пониженной размерности.

Тема 2. Явления переноса в сильных электрических полях. Туннелирование через квантово-размерные структуры.

Явления переноса в сильных электрических полях. Разогрев электронно-дырочного газа. Эффект Ганна. Туннельный эффект. Туннелирование через двухбарьерную структуру с квантовой ямой.

Тема 3. Одноэлектронные проблемы.

Теоретические основы одноэлектроники. Кулоновская лестница. Квантово-размерные эффекты. Реализация одноэлектронных приборов. Кремниевые одноэлектронные приборы. Приборы на основе двумерного электронного газа в гетероструктурах.

Тема 4. Гальваномагнитные эффекты. Эффект Холла.

Полупроводники в гальваномагнитных явлениях. Эффект Холла. Квантовый эффект Холла в двумерном электронном газе. Магниторезистивный эффект.

4.3.1. Содержание лекционных занятий

	Содержание темы
1.	Лекция 1. Кинетическое уравнение Больцмана. Электропроводность полупроводников. Кинетическое уравнение Больцмана. Время релаксации. Электропроводность. Баллистический транспорт в полупроводниках с субмикронных приборах. Особенности электрон-фононного взаимодействия в системах пониженной размерности.
2	Лекция 2. Явления переноса в сильных электрических полях. Туннелирование через квантово-размерные структуры. Явления переноса в сильных электрических полях. Разогрев электронно-дырочного газа. Эффект Ганна. Туннельный эффект. Туннелирование через двухбарьерную структуру с квантовой ямой.

3.	Лекция 3. Одноэлектронные проблемы. Теоретические основы одноэлектроники. Кулоновская лестница. Квантово-размерные эффекты. Реализация одноэлектронных приборов. Кремниевые одноэлектронные приборы. Приборы на основе двумерного электронного газа в гетероструктурах.
4.	Лекция 4. Гальваномагнитные эффекты. Эффект Холла. Полупроводники в гальваномагнитных явлениях. Эффект Холла. Квантовый эффект Холла в двумерном электронном газе. Магниторезистивный эффект.

4.3.2. Темы лабораторных занятий

Раздел	Темы практических (семинарских) занятий
Тема 1	Исследование температурной зависимости электропроводности полупроводников.
Тема 4	Эффект Холла в полупроводниках.

4.3.3. Темы самостоятельной работы

Тема 1. Кинетическое уравнение Больцмана. Электропроводность полупроводников.

Неравновесная функция распределения. Удельная электрическая проводимость полупроводников. Стационарная дрейфовая скорость. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры. Электропроводность по примесной зоне. Прыжковая проводимость. Баллистический транспорт в полупроводниках с субмикронных приборах. Подвижность электронов в системах с селективным легированием. Особенности электрон-фононного взаимодействия в системах пониженной размерности.

Тема 2. Явления переноса в сильных электрических полях. Туннелирование через квантово-размерные структуры.

Явления переноса в сильных электрических полях. Электропроводность полупроводников с вильных электрических полях. Разогрев электронно-дырочного газа. Эффект Ганна. Ударная ионизация и электростатическая ионизация. Туннельный эффект. Туннелирование через двухбарьерную структуру с квантовой ямой.

Тема 3. Одноэлектронные проблемы.

Теоретические основы одноэлектроники. Эффект одноэлектронного туннелирования. Полупроводниковые наночастицы. Кулоновская лестница. Квантово-размерные эффекты. Реализация одноэлектронных приборов. Кремниевые одноэлектронные приборы. Приборы на основе двумерного электронного газа в гетероструктурах.

Тема 4. Гальваномагнитные эффекты. Эффект Холла.

Полупроводники в гальваномагнитных явлениях. Эффект Холла. Эффект Холла в полупроводниках с двумя типами носителей заряда. Квантовый эффект Холла в двумерном электронном газе. Магниторезистивный эффект.

5. Оценочные средства для текущего контроля и аттестации обучающегося

Контрольные вопросы

1. Неравновесная функция распределения.
2. Удельная электрическая проводимость полупроводников.
3. Стационарная дрейфовая скорость.
4. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры. Электропроводность по примесной зоне.
5. Прыжковая проводимость.
6. Баллистический транспорт в полупроводниках с субмикронных приборах.
7. Подвижность электронов в системах с селективным легированием.
8. Особенности электрон-фононного взаимодействия в системах пониженной размерности.
9. Разогрев электронно-дырочного газа.
10. Эффект Ганна.
11. Ударная ионизация и электростатическая ионизация.
12. Туннельный эффект.
13. Туннелирование через двухбарьерную структуру с квантовой ямой.
14. Кулоновская лестница.
15. Кремниевые одноэлектронные приборы.
16. Приборы на основе двумерного электронного газа в гетероструктурах.
17. Эффект Холла.
18. Эффект Холла в полупроводниках с двумя типами носителей заряда.
19. Квантовый эффект Холла в двумерном электронном газе.
20. Магниторезистивный эффект.

Критериями оценки результатов самостоятельной работы аспиранта является оценка сформированности компетенций на основе:

- уровня освоения обучающимся учебного материала;
- умений аспиранта использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- обоснованности и четкости изложения ответа;
- оформления материала в соответствии с требованиями.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Основная литература:

1. Шалимова К. В. Физика полупроводников. - М.: Лань, 2010. –(62 экз.).
2. Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г. Физика полупроводников. М., Наука 2-е издание. 1990 г, 688 с. (5 экз.).
3. Зегря, Г.Г. Основы физики полупроводников / Г.Г. Зегря, В.И. Перель. - Москва : Физматлит, 2009. - 336 с. - ISBN 978-5-9221-1005-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68394> (13.11.2018).

6.2.Дополнительная литература:

4. Горбачев,В.В. Физика полупроводников и металлов: учебник для вузов / В. В. Горбачев, Л. Г. Спицина. - изд. 2-е перераб. и допол. - М. : Металлургия, 1982. - 336 с. - 1-10. (2 экз.).
5. Гантмахер, В.Ф. Электроны в неупорядоченных средах / В.Ф. Гантмахер. - Издание третье, исправленное и дополненное. - Москва : Физматлит, 2013. - 288 с. :

схем., ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-9221-1487-5 ; То же [**Электронный** ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=275472>(13.11.2018).

6.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

1. ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/>
2. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» www.biblioclub.ru.
3. Электронной библиотека на <http://elibrary.ru>.
4. Электронный каталог НБ ДГУ [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о всех видах лит, поступающих в фонд НБ ДГУ/Дагестанский гос. ун-т. – Махачкала, 2010 – Режим доступа: <http://elib.dgu.ru>.
5. Moodle [Электронный ресурс]: система виртуального обучением: [база данных] / Даг. гос. ун-т. – Махачкала, г. – Доступ из сети ДГУ или, после регистрации из сети ун-та, из любой точки, имеющей доступ в интернет. – URL: <http://moodle.dgu.ru/>
6. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru>.
7. Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета <http://edu.icc.dgu.ru>
8. <http://www.phys.msu.ru/rus/library/resources-online/> - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета МГУ.
9. <http://www.phys.spbu.ru/library/> - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета Санкт-Петербургского госуниверситета.
10. **Springer.** <http://link.springer.com>, <http://materials.springer.com/>
11. **Scopus:** <https://www.scopus.com>
12. **Web of Science:** webofknowledge.com
13. www.nanotech.ru

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Материально – техническая база кафедры инженерной физики, на которой реализуется преподавание дисциплины «Электронный транспорт в полупроводниках и композиционных полупроводниковых структурах» по направлению **03.06.01 – Физика и астрономия**, позволяет готовить аспирантов в соответствии с требованиями ФГОС. На кафедре имеются 3 учебных и 5 научных лабораторий, оснащенных современной технологической, измерительной и диагностической аппаратурой; в том числе функционирует проблемная НИЛ «Твердотельная электроника».

Лекционные занятия по дисциплине проводятся в аудитории, оснащенной мультимедийным проекционным оборудованием и интерактивной доской. Лабораторные занятия выполняются на современных испытательных стендах, сопряженных с компьютерной техникой.

8. Образовательные технологии

Основными видами образовательных технологий с применением, как правило, компьютерных и технических средств, учебного и научного оборудования являются:

- Информационные технологии.
- Проблемное обучение.
- Индивидуальное обучение.
- Междисциплинарное обучение.
- Опережающая самостоятельная работа. Для достижения предусмотренных по дисциплине компетенций используются следующие формы организации учебного процесса: лекция (информационная, проблемная, лекция-визуализация, лекция-

консультация и др.), семинар, лабораторные занятия, самостоятельная работа, консультация.

Самостоятельная работа организована в соответствии с технологией проблемного обучения и предполагает следующие формы активности:

- самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей.

Критериями оценки результатов самостоятельной работы аспиранта является оценка сформированности компетенций на основе:

- уровня освоения обучающимся учебного материала;
- умений аспиранта использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- обоснованности и четкости изложения ответа;
- оформления материала в соответствии с требованиями.