



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» *шам* 2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках и композиционных 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

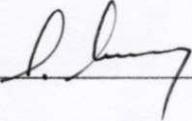
Махачкала 2018

Рабочая программа дисциплины «Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках и композиционных 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» июля 2014 г. № 867.

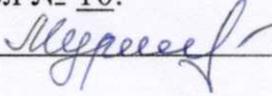
Разработчик: кафедра инженерной физики, Садыков Садык Абдулмуталимович, доктор физико-математических наук, профессор.

Рабочая программа дисциплины одобрена:

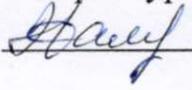
на заседании кафедры инженерной физики от «25» июня **2018 г.**, протокол №1а.

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 «Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках и композиционных 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, связанных с оптическими и фотоэлектрическими явлениями в полупроводниках и полупроводниковых композиционных структурах: основные механизмы поглощения, прямые и непрямые переходы, генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда, излучательные процессы, фотопроводимость, фотовольтаические эффекты, спонтанное и вынужденное излучения, лазеры.

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 3 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	из них					
	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	КСР	консультации			
4,5	108	18	8	10	-		90	зачет

1. Цели освоения дисциплины

Цель изучения дисциплины «Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках и композиционных структурах» состоит в формировании углубленных представлений о физических эффектах, лежащих в основе работы современных оптоэлектронных приборов, предназначенных для создания и регистрации оптического излучения.

Задачи дисциплины: формирование и углубление целостных представлений об оптических и фотоэлектрических явлениях в полупроводниках и полупроводниковых композиционных структурах: Аспиранты, завершившие изучение данной дисциплины, должны:

- иметь представление: об основных механизмах поглощения оптического излучения, излучательных и безызлучательных процессах в полупроводниках и полупроводниковых композиционных структурах;
- знать: основные механизмы излучательной рекомбинации неравновесных носителей заряда, природу внутреннего и внешнего фотоэффекта, фотопроводимости, фотовольтаических эффектов;
- уметь: использовать полученные теоретические знания для анализа оптических и фотоэлектрических явлений в полупроводниках и полупроводниковых композиционных структурах.

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 меж-	<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

	дисциплинарных областях	<p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах, критически оценивать научную информацию. • 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	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	<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	способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования, и владением методами проведения патентных исследований при создании	<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

	инновационных продуктов в области профессиональной деятельности	<p>исследований в области оптики полупроводников и полупроводниковых композиционных структур.</p> <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	Устный опрос, письменный опрос

Компетенция	Код по ФГОС	Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата)	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции
		оборудования, и владением методами проведения патентных исследований при создании инновационных продуктов в области профессиональной деятельности	

3. Место дисциплины в структуре ОПОП аспирантуры

Изучение данной дисциплины базируется на следующих дисциплинах, прохождении практик:

- Физика полупроводников и диэлектриков.
- Физика конденсированного состояния
- Оптическая и квантовая электроника.
- 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	Процессы поглощения в полупроводниках.	4		2		2		24	Домашнее задание (ДЗ) Собеседование (С) Рейтинговая система (РС)
2	Излучательная рекомбинация в	4		2		4		40	(ДЗ), (С), (РС)

	полупроводниках							
3	Фотоэлектрические явления в полупроводниках	5		2		4		12 (ДЗ), (С), (РС)
4	Оптические явления в полупроводниковых квантово-размерных структурах	5		2				14 (ДЗ), (С), (РС)
	ИТОГО:			8		10		90

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

Тема 1. Процессы поглощения в полупроводниках.

Виды поглощения. Собственное поглощение. Прямые и не прямые оптические переходы; форма края основного поглощения в прямозонных и непрямозонных полупроводниках. Влияние внешних факторов на положение края основного оптического поглощения. Экситонное поглощение. Ионизация мелких примесных центров. Взаимодействие света с ионизированными примесными центрами. Неселективное поглощение свободными носителями заряда. Решеточное поглощение; однофононный резонанс.

Тема 2. Излучательная рекомбинация в полупроводниках

Виды излучательных процессов. Межзонная рекомбинация. Зависимость времени жизни неравновесных носителей заряда от положения уровня Ферми, температуры и уровня возбуждения. Эффективность излучения. Экситонная рекомбинация. Примесное излучение. Донорно-акцепторные переходы. Спонтанное и вынужденное излучение. Люминесценция полупроводников.

Тема 3. Фотоэлектрические явления .

Внутренний фотоэффект. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости. Эффект Дембера. Внешний фотоэффект. Фотогальванический эффект в р-ппереходе и его применения.

Тема 4. Оптические явления в полупроводниковых квантово-размерных структурах.

Оптическое поглощение гетероструктур. Фотолюминесценция наноструктур. Нелинейные оптические свойства наноструктур. Фотоэлектрические явления в квантово-размерных структурах.

4.3.1. Содержание лекционных занятий

	Содержание темы
1.	<p>Лекция 1. Процессы поглощения в полупроводниках.</p> <p>Виды поглощения. Собственное поглощение. Прямые и не прямые оптические переходы; форма края основного поглощения в прямозонных и непрямозонных полупроводниках. Экситонное поглощение. Ионизация мелких примесных центров. Неселективное поглощение свободными носителями заряда. Решеточное поглощение; однофононный резонанс.</p>

2	Лекция 2. Излучательная рекомбинация в полупроводниках Виды излучательных процессов. Межзонная рекомбинация. Эффективность излучения. Экситонная рекомбинация. Примесное излучение. Донорно-акцепторные переходы. Спонтанное и вынужденное излучение. Люминесценция полупроводников.
3.	Лекция 3. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Внутренний фотоэффект. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости. Эффект Дембера. Внешний фотоэффект. Фотогальванический эффект в p-переходе и его применения
4.	Лекция 4. Оптические явления в полупроводниковых квантово-размерных структурах. Оптическое поглощение гетероструктур. Фотолюминесценция наноструктур. Нелинейные оптические свойства наноструктур. Фотоэлектрические явления в квантово-размерных структурах.

4.3.2. Темы лабораторных занятий

Раздел	Темы практических (семинарских) занятий
Тема 1	Определение ширины запрещенной зоны полупроводника оптическим методом.
Тема 2	Изучение люминесценции полупроводников.
Тема 3	Исследование фотоэлектрических свойств полупроводниковых материалов. Фотоэлектрические преобразователи.

4.3.3. Темы самостоятельной работы

Процессы поглощения в полупроводниках.

Виды поглощения. Собственное поглощение. Прямые и непрямые оптические переходы; форма края основного поглощения в прямозонных и непрямозонных полупроводниках. Влияние внешних факторов на положение края основного оптического поглощения. Экситонное поглощение. Ионизация мелких примесных центров. Взаимодействие света с ионизированными примесными центрами. Неселективное поглощение свободными носителями заряда. Решеточное поглощение; однофононный резонанс.

Оптические межподзонные переходы в квантовых ямах. Анизотропия поглощения, эффекты деполяризации. Двулучепреломление и фотоионизация квантовых ям. Внутриподзонное поглощение, переходы между минизонами. Эффект Штарка при внутризонном поглощении. Межподзонные переходы дырок. Межзонное поглощение в квантовых ямах. Экситонные эффекты в спектрах отражения и пропускания. Оптические свойства полупроводниковых кластеров и сверхрешеток. Фононные нанокристаллы. Примесное поглощение в наноструктурах.

Излучательная рекомбинация в полупроводниках

Виды излучательных процессов. Межзонная рекомбинация. Эффективность излучения. Экситонная рекомбинация. Примесное излучение. Донорно-акцепторные переходы. Спонтанное и вынужденное излучение. Люминесценция полупроводников. Излучательная рекомбинация в структурах с квантовыми ямами.

Фотоэлектрические явления в полупроводниках.

Внутренний фотоэффект. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости. Эффект Дембера. Внешний фотоэффект. Фотогальванический эффект в р-п-переходе и его применения. Захват носителей заряда в гетероструктурах. Фотоэлектрические явления в квантовых ямах. Резонансный эффект увлечения в двумерном электронном газе.

Методы исследования оптических и фотоэлектрических свойств полупроводников и композиционных полупроводниковых структур.

Методика исследования фотоэлектрических спектров. Спектроскопия конденсаторной фотоэдс. Конденсаторная фотоэдс и барьерная фотопроводимость. Конденсаторная фотоэдс и фотолюминесценция.

5. Оценочные средства для текущего контроля и аттестации обучающегося

Контрольные вопросы

1. Межзонная рекомбинация неравновесных носителей.
2. Рекомбинация через локальные центры.
3. Поглощение света. Фундаментальные (собственные) поглощения.
4. Примесные и экситонные поглощения. Поглощение свободными носителями и решеточное.
5. Прямые и не прямые оптические переходы; форма края основного поглощения в прямозонных и непрямозонных полупроводниках.
6. Экситонное поглощение.
7. Ионизация мелких примесных центров.
8. Взаимодействие света с ионизированными примесными центрами.
9. Оптические межподзонные переходы в квантовых ямах.
10. Внутриподзонное поглощение, переходы между минизонами.
11. Эффект Штарка при внутризонном поглощении.
12. Фононные нанокристаллы.
13. Примесное поглощение в наноструктурах.
14. Спонтанное и вынужденное излучение. Люминесценция полупроводников.
15. Излучательная рекомбинация в структурах с квантовыми ямами.
16. Внутренний фотоэффект.
17. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости.
18. Эффект Дембера.
19. Внешний фотоэффект.
20. Фотогальванический эффект в р-п-переходе и его применения.
21. Фотоэлектрические явления в квантовых ямах.
22. Резонансный эффект увлечения в двумерном электронном газе.
23. Методы исследования фотоэлектрических спектров.

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. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. Учеб. для вузов.- М.: Высшая школа, 2001.- 573 с. – (7 экз.).
3. <https://studfiles.net/preview/1979263/>. Глава 6. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках.

6.2.Дополнительная литература:

4. Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г. Физика полупроводников. М., Наука 2-е издание. 1990 г, 688 с. (5 экз.).
5. Давыдов, В.Н. Физические основы оптоэлектроники : учебное пособие / В.Н. Давыдов ; Министерство образования и науки Российской Федерации. - Томск : ТУСУР, 2016. - 139 с. : ил.,табл., схем. - Библиогр. в кн. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480763\(12.11.2018\)](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480763(12.11.2018)).
6. Квантовые и оптические процессы в твердых **телах**: теория и практика : учебное пособие / Н.Н. Безрядин, Т.В. Проколова, А.В. Линник и др. ; науч. ред. Н.Н. Безрядин ; Министерство образования и науки РФ, ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий». - Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2015. - 153 с. : ил. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=336036> (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 данной дисциплины 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 соответствие 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.