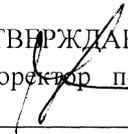


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ИНГУШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

Ф.Д. Кодзоева
« » 20 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.04.01 Фотоэлектрические явления в полупроводниках

индекс дисциплины по учебному плану, наименование дисциплины (модуля)

Направление подготовки - *магистратура*

03.04.02 Физика

(код, наименование)

Направленность: Физика полупроводников

(наименование профиля, магистерской программы, специализации)

Квалификация выпускника – *магистр*

Форма обучения - *очная*

Магас, 2021

1. Цели освоения дисциплины

Формируемые дисциплиной знания и умения готовят выпускника данной образовательной программы к выполнению следующих обобщенных трудовых функций: физические системы различного масштаба и уровней организации, процессы их функционирования, физические, инженерно-физические, физико-медицинские и природоохранные технологии, физическая экспертиза и мониторинг.

Перечень профессиональных стандартов, обобщенных трудовых функций и трудовых функций, соответствующих профессиональной деятельности выпускников

- 24 Атомная промышленность
- 25 Ракетно-космическая промышленность
- 29 Производство электрооборудования, электронного и оптического оборудования

Целями освоения дисциплины «Фотоэлектрические явления в полупроводниках» являются формирование у студентов комплекса профессиональных знаний и умений и усвоение физических принципов действия полупроводниковых фотоэлектрических материалов и приборов, их параметров, характеристик и практического применения в изделиях электронной техники.

Задачами изучения дисциплины являются:

- формирование и углубление знаний о физической природе фотопроводимости и других проявлений внутреннего фотоэффекта полупроводников и практической реализации полупроводниковых структур, применяемых в приборах и устройствах твердотельной электроники, опто-, микро- и нанoeлектроники;
- формирование знаний и умений теоретически исследовать физические процессы внутреннего фотоэффекта, протекающие в структурах полупроводниковых приборов и интегральных схем;
- приобретение навыков (владений) расчета параметров и характеристик полупроводниковых фотоэлектрических приборов, оптимизации режимов их работы.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата

Дисциплина относится к части Блока 1, формируемой участниками образовательных отношений «Дисциплины по выбору Б1.В.ДВ.4». Изучается на 2 курсе в 3 семестре.

Дисциплина «Фотоэлектрические явления в полупроводниках» является логическим продолжением таких дисциплин, как «Физика полупроводников» и «Физика полупроводниковых приборов», которые изучаются на 1-ом и 2-ом курсах. Для освоения данной дисциплины студенты должны владеть знаниями о фотопроводимости, подвижности, концентрации основных и неосновных носителей заряда, о полупроводниковых приборах и т.д. Знания, полученные по данной дисциплине, применяются на преддипломной практике на 2-ом курсе 4-го семестра и при написании и защиты выпускной квалификационной работы.

3. Результаты освоения дисциплины «Фотоэлектрические явления в полупроводниках»

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по данному направлению:

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикатор достижения компетенции (закрепленный за дисциплиной)	В результате освоения дисциплины обучающийся должен:
-----------------	--------------------------	--	--

УК	Универсальные компетенции	УК 1: Системное и критическое мышление	Знать Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
		УК 4: Коммуникация	Знать Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия Уметь...
ОПК	Общепрофессиональные компетенции	ОПК-3:	Способен применять знания в области информационных технологий, использовать современные компьютерные сети, программные продукты и ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки;
		ОПК-4:	Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности.
ПК	Профессиональные компетенции	ПК-1: Научно-исследовательская деятельность	Способностью самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта;
		ПК-3: Научно-инновационная деятельность	Способностью свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности; способностью принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности

4. Структура и содержание дисциплины «Фотоэлектрические явления в полупроводниках»

4.1. Структура дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 36 зачетных единиц, 144 часов.

№ п/п	Наименование разделов и тем дисциплины (модуля)	семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)								Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)					
			Контактная работа					Самостоятельная работа			Собеседование	Коллоквиум	Проверка тестов	Проверка контролн. работ	Проверка реферата	Проверка эссе и иных курсовых работ (проект)
			Всего	Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Др. виды контакт. работы	Всего	Курсовая работа(проект)	Подготовка к экзамену						
1.	Раздел 1. ФОТОПРОВОДИМОСТЬ															
1.1.	Тема 1.1. Введение. Фотоактивное поглощение и внутренний фотоэффект	3	8	4		4	4			4		4				
1.2.	Тема 1.2. Фотопроводимость. Движение носителей	3	8	4		4	4			4		4				
1.3	Тема 1.3 Рекомбинация в фотопроводниках	3	4	2		2	2			2	3					
1.4	Тема 1.4 Элементарные рекомбинационные	3	4	2		2	2			2	3					
1.5	Тема 1.5 Фотопроводимость полупроводников	3	8	4		4	4			4	4					
2.	Раздел 2 ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С НАГРЕВОМ															
2.1	Тема 2.1 Фотоэлектрические явления при неравновесном распределении носителей	3	8	4		4	4			4		4				
2.2	Тема 2.2 Эффект увлечения электронов фотонами	3	4	2		2	2			2	3					
3.	Раздел 3. ФОТОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ И ДРУГИЕ ЭФФЕКТЫ															
3.1.	Тема 3.1. Виды фотоэлектрического	3	8	4		4	4			4	3					
3.2.	Тема 3.2 Фотогальванический	3	4	2		2	2			2				3		
3.3	Тема 3.3 Спектральная характеристика фотопроводимости	3	8	4		4	4			4				3		
	Подготовка к экзамену															
	Общая трудоемкость, в		64	32		32	32			12	32	Промежуточная				

час										Экзамен	2
-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---------	---

4.2. Содержание дисциплины

Раздел 1 ФОТОПРОВОДИМОСТЬ

Тема 1.1 ФОТОАКТИВНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ И ВНУТРЕННИЙ ФОТОЭФФЕКТ

- Первичные и вторичные фототоки

Тема 1.2. ФОТОПРОВОДИМОСТЬ. ДВИЖЕНИЕ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ФОТОПРОВОДНИКАХ

- Примеры простых фотопроводящих систем
- Диффузия и дрейф фотоносителей в монополярном полупроводнике
- Эффективное время установления диффузионно-дрейфового
- О длине экранирования в плохо проводящих полупроводниках и диэлектриках
- Распределение концентрации при наличии внешнего электрического поля
- О классификации фототоков в однородных полупроводниках
- Особенности диффузии и дрейфа фотоносителей в биполярном полупроводнике
- Добротность фотопроводников

Тема 1.3. РЕКОМБИНАЦИЯ В ФОТОПРОВОДНИКАХ

- Рекомбинационная модель Шокли-Рида
- Фотопроводник с одним классом центров рекомбинации в условиях различной освещенности
- Прилипание носителей заряда
- Два класса центров рекомбинации
- Очувствление фотопроводников при освещении
- Отрицательная фотопроводимость

Тема 1.4. ФОТОПРОВОДИМОСТЬ НЕОДНОРОДНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

- Фотопроводимость поликристаллических веществ
- Фотопроводимость, ограниченная контактами
- Фотоэлектрические свойства контакта металл – монополярный полупроводник (диэлектрик)
- Стационарные характеристики монополярного фоторезистора при контактном ограничении
- Фотопроводимость при экситонном поглощении
- Остаточная проводимость
- Униполярная отрицательная фотопроводимость.
- Аномальная фотопроводимость
- Долговременные релаксации в фотопроводниках

Раздел 2 ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С НАГРЕВОМ ЭЛЕКТРОНОВ

Тема 2.1 Фотоэлектрические явления при неравновесном распределении носителей заряда по энергии.

- описание возмущенного распределения электронов по энергиям
- μ -проводимость, уравнение баланса
- осцилляция фотопроводимости

Тема 2.2 Эффект увлечения электронов фотонами

- эффект увлечения носителей заряда фотонами
- продольный и поперечный эффекты увлечения
- эффект увлечения в случае примесного поглощения света

Раздел 3. ФОТОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ И ДРУГИЕ ЭФФЕКТЫ

Тема 3.1. ВИДЫ ФОТОДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

- Формирование представлений
- Метод эквивалентных схем
- Фотоиндуктивный эффект

- Остаточная фотоёмкость
- О прохождении переменного тока в неоднородных кристаллах с подвижной объёмной неоднородностью
- Применение к биполярному транзистору
- О классификации различных проявлений ФДЭ
- Применение фотодиэлектрического эффекта
- Фотоварикапы
- Динамический фотоконденсатор

ПОНЯТИЕ О ШУМАХ ФОТОПРОВОДНИКОВ

Тема 3.2. ФОТОГАЛЬВАНИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ. ФОТОДИОД

Тема 3.3. СПЕКТРАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФОТОПРОВОДИМОСТИ

5. Образовательные технологии

Таблица 5.1.

Активные и интерактивные формы проведения учебных занятий по дисциплине

№п.п.	Тема программы дисциплины	Применяемые технологии	Кол-во аудит. часов
1	Введение. Фотоактивное поглощение и внутренний фотоэффект	классическое традиционное; лекционное обучение	8
2	Фотопроводимость. Движение носителей заряда в фотопроводниках	классическое традиционное; лекционное обучение, наглядные, программированные	8
3	Рекомбинация в фотопроводниках	классическое традиционное; лекционное обучение, вербальные (аудио)	4
4	Элементарные рекомбинационные процессы	классическое традиционное; лекционное обучение, наглядные, программированные	4
5	Фотопроводимость неоднородных полупроводников и диэлектриков	классическое традиционное; лекционное обучение, самостоятельная работа	8
6	Фотоэлектрические явления при неравновесном распределении носителей заряда по энергии	классическое традиционное; лекционное обучение, самообучение	8
7	Эффект увлечения электронов фотонами	классическое традиционное; лекционное обучение, дистанционные	4
8	Виды фотоэлектрического эффекта	классическое традиционное; лекционное обучение, компьютерное программированное обучение	8
9	Фотогальванический эффект. Фотодиод.	классическое традиционное; лекционное обучение, наглядные, программированные	4
10	Спектральная характеристика фотопроводимости	классическое традиционное; лекционное обучение, самостоятельная работа	8

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

6.1. План самостоятельной работы студентов

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература (Указывается номер из раздела 7)	Количество часов
1	Основные параметры фотопроводимости: время ее нарастания и спада, стационарная величина и стационарное время фотопроводимости.	работа над конспектом лекции; лабораторные занятия с оборудованием	Изучить что такое фотопроводимость, время нарастания и спада. Выполнить лабораторную работу № 1		3
2	Эффект прилипания носителей, влияние его на параметры примесной фотопроводимости.	Коллоквиум; доработка конспекта лекции с применением учебника, методической литературы, дополнительной литературы	Подготовиться к коллоквиуму. Самостоятельно изучить эффект прилипания и как он влияет на параметры примесной фотопроводимости.		2
3	Основные механизмы рекомбинации носителей заряда и температурная зависимость примесной фотопроводимости	подбор, изучение, анализ и конспектирование рекомендованной литературы;	По материалам лекций и предложенной литературы изучить основные механизмы рекомбинации		3
4	Обнаружительная способность ИК приемников и их зависимости от параметров полупроводников	работа над конспектом лекции; лабораторные занятия с оборудованием,	Изучить конспект лекции. Провести лабораторную работу № 2		3

		самостоятельное изучение отдельных тем, параграфов			
5	Стационарное распределение неравновесной концентрации носителей в направлении распространения света в полупроводнике	работа над конспектом лекции; консультации по сложным, непонятным вопросам лекций	Изучить конспект лекции.		3
6	Спектральная зависимость собственной фотопроводимости, влияние на нее скорости поверхностной рекомбинации	работа над конспектом лекции; лабораторные занятия с оборудованием; написание реферата	Изучить конспект лекции. Провести лабораторную работу № 3. Написать реферат		3
7	Зависимость полной стационарной концентрации носителей от скорости поверхностной рекомбинации	работа над конспектом лекции; подготовка доклада к конференции	Изучить конспект лекции. Подготовить доклад к студенческой конференции		2
8	Квазиуровни Ферми для свободных и захваченных на локальные уровни носителей, демаркационные уровни	работа над конспектом лекции; лабораторные занятия с оборудованием; коллоквиум	Изучить конспект лекции. Провести лабораторную работу № 4. Подготовиться к коллоквиуму		2
9	Зависимость расположения квазиуровней Ферми в запрещенной зоне от параметров уровней, температуры и скорости генерации носителей светом	работа над конспектом лекции; написание реферата	Изучить конспект лекции. Написать реферат		3
10	Влияние оптической перезарядки на подвижность носителей заряда и	работа над конспектом лекции; лабораторные занятия с	Изучить конспект лекции. Провести лабораторную		2

	на времена их жизни, на спектральные зависимости поглощения и фотопроводимости	оборудованием;	работу № 5.		
11	Суперлинейность и сублинейность люкс-амперных характеристик этих эффектов и их использование для определения параметров полупроводников	работа над конспектом лекции; консультации по сложным, непонятным вопросам лекций коллоквиум	Изучить конспект лекции. Подготовиться к коллоквиуму		2
12	Фотоэлектромагнитный эффект как метод определения параметров полупроводников	работа над конспектом лекции; лабораторные занятия с оборудованием;	Изучить конспект лекции. Провести лабораторную работу №6.		2
13	Особенности фоторазогрева в сильно легированных и компенсированных полупроводниках	работа над конспектом лекции; подготовка к экзамену	Изучить конспект лекции. Подготовиться к экзамену		14

6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Целью самостоятельной работы магистранта является самостоятельное приобретение новые знаний и выработка способности к постоянному самообучению и самосовершенствованию в профессиональной и социально-общественных сферах деятельности.

Самостоятельная учебная работа представлена такими формами учебного процесса, как лекция, семинар, практические и лабораторные занятия, экскурсии, подготовка к ним. Студент должен уметь вести краткие записи лекций, составлять конспекты, планы и тезисы выступлений, подбирать литературу и т.д.

Научная самостоятельная работа студента заключается в его участии в работе кружков на кафедрах, в научных конференциях разного уровня, а также в написании контрольных, курсовых и выпускных квалификационных (дипломных работ) работ.

Самостоятельная работа студентов включает следующие компоненты:

№№ п/п	Наименование работы	Кол-во часов	Форма контроля
1	Проработка лекционного материала	33 (0.9)	Экзамен

2	Подготовка к лабораторным работам	33 (0.9)	Допуск к каждой лабораторной работе и защита отчета.
---	-----------------------------------	-------------	--

6.3. Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов

Контроль освоения компетенций

№ п/п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
	Выполнение лабораторных работ	Фотоактивное поглощение и внутренний фотоэффект	ПК-1, УК-1
	Коллоквиум	Фотопроводимость. Движение носителей заряда в фотопроводниках	ОПК-4: ПК-1
	Тестирование	Рекомбинация в фотопроводниках	УК-4, ОПК-3
	Коллоквиум	Элементарные рекомбинационные процессы	УК-4, ПК-1
	Выполнение лабораторных работ	Фотопроводимость неоднородных полупроводников и диэлектриков	ОПК-3, ПК-3
	Тестирование	Фотоэлектрические явления при неравновесном распределении носителей заряда по энергии	УК-1, ПК-1
	Коллоквиум	Эффект увлечения электронов фотонами	УК-4, ПК-3
	Выполнение лабораторных работ	Виды фотоэлектрического эффекта	ОПК-4, ПК-1
	Коллоквиум	Фотогальванический эффект. Фотодиод	УК-1, ПК-3
	Контрольная работа	Спектральная характеристика фотопроводимости	ОПК-3, ПК-1

Материалы для проведения текущего контроля знаний и промежуточной аттестации составляют отдельный документ – Фонд оценочных средств по дисциплине «Фотоэлектрические явления в полупроводниках»

7. Учебно-методическое и материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) «Фотоэлектрические явления в полупроводниках»

7.1. Учебная литература:

1. Нальгиева М.А., Торшхоева З.С. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. г.Магас, 2018 г.
2. Воробьев Л.Е. и др. Фотоэлектрические явления в полупроводниковых и размерно-квантовых структурах. СПб, 2001.
3. Электрические и фотоэлектрические явления в гетероструктурах на основе полупроводников АЗВ5 и кремния. Салихов Х.М.С-Петербург, 2010.
4. Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники: учеб. программа дисциплины/сост.: В. А. Юзова, Г. Н. Шелованова. – Красноярск: ИПК СФУ, – 46 с. –

(Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники: УМКД № 1524/1092-2008/рук. творч. коллектива Г. Н. Шелованова). 2009.

5. Исследование электрофизических свойств фоторезисторов на основе PbS. Комиссаров А.Л. 2011.

6. Фотоэлектрические явления и эффект поля в квантово-размерных гетеронаноструктурных In(Ga)As/GaAs. Истомин Л.А. 2010.

Периодическая литература вузов.

1. Известия вузов. Электроника.
2. Микроэлектроника.
3. Физика и техника полупроводников.
4. Нанотехнологии и наноматериалы.
5. Нано- и микросистемная техника.
6. Перспективные материалы. Микроэлектроника.

7.2. Интернет-ресурсы

1. Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники. Версия 1,0 [Электронный ресурс]: электр. учеб.-метод. комплекс/Г. Н. Шелованова, В. А. Юзова, В. А. Барашков, О. В. Семенова – Электронные дан. (127 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, –2009.

2. Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники. Версия 1,0 [Электронный ресурс]: учеб. программа дисциплины/сост.: В. А. Юзова, Г. Н. Шелованова. – Электронные дан. (2 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, –2009.

3. Шелованова Г. Н. Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники. Версия 1,0 [Электронный ресурс]: электр. курс лекций / Г. Н. Шелованова. – Электронные дан. (6 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ– 2009.

4. Унифицированная система компьютерной проверки знаний тестированием UniTest версии 3.0.0. руководство пользователя/А. Н. Шниперов, Б. М. Бидус. – Красноярск, 2008.

5. Шелованова, Г. Н. Современные проблемы электроники: кремниевая электроника [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие/Г. Н. Шелованова. – Электрон. дан. – Красноярск: КГТУ, 2006. – Режим доступа: <http://lib.krgtu.ru/pocobia.phpsection=shelovanova> – Загл. с экрана.

6. <http://www.superconductors.org/>

7. <http://www.nanoink.net>

8. <http://www.ioffe.ru/journals/>

9. <http://journal.sfu-kras.ru/>

10. <http://www.mikrosystems.ru>

7.3. Программное обеспечение

1. Операционная система Microsoft Windows XP Professional.

2. Пакет прикладных программ Microsoft Office 2003 Professional.

3. Программный продукт «Антивирус Касперского».

4. Программный продукт FineReader 7.0 Professional Edition.

5. Программный продукт MATLAB 6.

7.4. Материально-техническое обеспечение

1. Презентации лекций

2. Демонстрации и фрагменты кинофильмов, анимации физических процессов:

3. ФПЭ – 02 – модуль

2. МТ - мультиметр

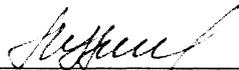
3. РО - Осциллограф

4. ФПЭ-04 – модуль

5. ФПЭ-ИП – источник питания
6. ФПЭ-05 – модуль
7. PQ - генератор звуковой частоты
8. ФПЭ-06 - модуль
9. ФПЭ – 07 – модуль
10. ФПЭ-08– модуль
11. ФПЭ - ME – магазин емкостей
12. ФПЭ - MC – магазин сопротивлений
13. ФПЭ – 09 – модуль
14. ФПЭ-10 – модуль
15. ФПЭ – 11 – модуль
16. ФПЭ-12 – модуль
17. ФПЭ – 13 - модуль
18. ФПЭ-20

Рабочая программа дисциплины «Фотоэлектрические явления в полупроводниках» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.02 Физика полупроводников, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «7» августа 2020 г. № 920.

Программу составила:
К.ф-м.н., доцент
(Ф.И.О.,



должность,

Нальгиева М.А.

подпись)

Программа одобрена на заседании кафедры _____

Протокол № 10 от «23» июня 2021 года

Зав. кафедрой _____

(подпись)

Тюркина Ольга В.С.

(Ф.И.О.)

Программа согласована с заведующим выпускающей кафедрой _____



(наименование кафедры)

Тюркина Ольга В.С.

(подпись, Ф.И.О., дата)

Программа одобрена Учебно-методическим советом _____
факультета/института

протокол № 16 от «23» июня 2021 года

Председатель Учебно-методического совета факультета _____

(подпись)

(Ф.И.О.)

Нальгиева М.А.

Программа рассмотрена на заседании Учебно-методического совета университета

протокол № 16 от «30» июня 2021 г.

Председатель Учебно-методического совета университета _____

(подпись)

(Ф.И.О.)

Клишнев И.Б.

Сведения о переутверждении программы на очередной учебный год и регистрации изменений

Учебный год	Решение кафедры (№ протокола, дата)	Внесенные изменения	Подпись зав. кафедрой