



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра радиофизики и радиоэлектроники



УТВЕРЖДАЮ
Декан ~~_____~~ Буднев Н.М.

«17» апреля 2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины **Б1.В.ДВ.01.02 Дополнительные главы физической электроники**

Направление подготовки **03.03.03 Радиофизика**

Направленность (профиль) подготовки **Радиофизика: радиоэлектронные устройства, обработка сигналов и автоматизация**

Квалификация выпускника **бакалавр**

Форма обучения **очная**

Согласовано с УМК физического факультета

Протокол №42 от «15» апреля 2024 г.

Председатель ~~_____~~ Буднев Н.М.

Рекомендовано кафедрой радиофизики и радиоэлектроники:

Протокол № 8 от «08» апреля 2024 г.

И.О. зав. кафедрой ~~_____~~ Колесник С.Н.

Иркутск 2024 г.

Содержание

I. Цели и задачи дисциплины	3
II. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО	3
III. Требования к результатам освоения дисциплины.....	3
IV. Содержание и структура дисциплины	4
4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов	4
4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	5
4.3. Содержание учебного материала	7
4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ	8
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)	9
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.....	9
4.5. Примерная тематика курсовых работ	10
V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	10
а) основная литература	Ошибка! Закладка не определена.
б) дополнительная литература.....	Ошибка! Закладка не определена.
в) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы.....	Ошибка! Закладка не определена.
VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины	11
6.1. Учебно-лабораторное оборудование:	11
6.2. Программное обеспечение:.....	11
6.3. Технические и электронные средства:.....	11
VII. Образовательные технологии	11
VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации.....	11

I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Дополнительные главы физической электроники» - дисциплина, изучающая физические процессы в наноразмерных материалах твердотельной электроники. Главным образом она имеет дело с разработкой принципов создания современных электронных устройств с высокой плотностью записи информации и высокими скоростями ее обработки.

Цель курса – дать бакалаврам основные представления о состоянии исследований в микроэлектронике, ознакомить с методами, применяемыми при разработке и проектировании высокоскоростных устройств. Содержание дисциплины направлено на изучение принципов работы электронных систем, описание основных физических процессов, протекающие в материалах, составляющих основу современной физической электроники и нанoeлектроники.

Задачи курса - научить бакалавров ориентироваться в основных направлениях развития и проблематике современной физической электроники и нанoeлектроники.

II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Дополнительные главы физической электроники» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений.

Освоение дисциплины «Дополнительные главы физической электроники» необходимо для профессиональной работы в области нанoeлектроники. Изучение курса предполагает наличие основных знаний по дисциплинам «Радиоэлектроника», «Теория колебаний», «Квантовая механика», «Физическая электроника и квантовая радиофизика».

Полученные в процессе изучения курса знания и навыки могут быть использованы во время прохождения производственной практики, выполнения выпускной квалификационной работы, а также в дальнейшей профессиональной работе.

III. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по направлению подготовки **03.03.03 Радиофизика**.

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ПК-1 <i>Способность использовать физико-математические знания в сфере профессиональной деятельности</i>	ИДК ПК-1.1 <i>Применяет физико-математический аппарат в сфере своей профессиональной деятельности</i>	Знать: основные физические процессы и явления, протекающие в наноразмерных структурах Уметь: формулировать основные направления исследований в физике наноразмерных структур, разработке устройств, элементной базы и технологических процессов Владеть: навыками расчета наноразмерных структур для применения в современных устройствах

IV. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 часов

Форма промежуточной аттестации: зачет

4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/п	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)				Форма текущего контроля успеваемости
					Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельная работа	
					Лекция	Практическое / лабораторное занятие	Консультация		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Раздел 1. Тенденции развития физической электроники и микроэлектроники	8	10,1		2	2/2	0,1	4	Устный опрос
2	Раздел 2. Магнитные взаимодействия и магнитные структуры		13,1			4/4	0,1	5	Устный опрос
3	Раздел 3. Ферромагнитные металлы		13,2			4/4	0,2	5	Письменный опрос
4	Раздел 4. Транспорт носителей тока в немагнитных металлах и полупроводниках		15,1		2	4/4	0,1	5	Устный опрос
5	Раздел 5. Спин-зависящий транспорт в магнитных металлах, полупроводниках		10,1		2	2/2	0,1	4	Устный опрос

	и гетероструктурах							
6	Раздел 6. Гигантское магнитосопротивление (ГМС). Туннельное магнитосопротивление	10,1	2	2/2	0,1	4	Устный опрос	
7	Раздел 7. Спиновые клапаны (вентили) и спинэлектронные устройства для записи информации	15,1	2	4/4	0,1	5	Устный опрос	
8	Раздел 8. Точечные магнитные контакты. Сверхпроводящая спинтроника	10,2	2	2/2	0,2	4	Письменный опрос	

4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семес тр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения (неделя семестра)	Трудоемкость (час.)		
8	Раздел 1. Тенденции развития физической электроники и микроэлектроники	Работа с учебником, справочной литературой, первоисточниками, конспектом	1-2	4	Устный опрос	Источники из основной и из дополнительной литературы; Самостоятельный поиск литературы на образовательных ресурсах, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ
8	Раздел 2. Магнитные взаимодействия и магнитные структуры		3	5	Устный опрос	
8	Раздел 3. Ферромагнитные металлы		5	5	Письменный опрос	
8	Раздел 4. Транспорт носителей тока в немагнитных металлах и полупроводниках		5-6	5	Устный опрос	
8	Раздел 5. Спин-зависящий транспорт в магнитных металлах, полупроводниках и гетероструктурах		7-8	4	Устный опрос	
8	Раздел 6. Гигантское магнитосопротивление (ГМС). Туннельное магнитосопротивление		9	4	Устный опрос	

8	Раздел 7. Спиновые клапаны (вентили) и спинэлектронные устройства для записи информации		10	5	Устный опрос	
8	Раздел 8. Точечные магнитные контакты. Сверхпроводящая спинтроника		11	4	Письменный опрос	
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				37		

4.3. Содержание учебного материала

Раздел 1. Тенденции развития физической электроники и микроэлектроники

- 1.1. Материалы, методы проектирования технологических процессов
- 1.2. Современные технологии
- 1.3. Наноразмерные структуры и нанотехнологии

Раздел 2. Магнитные взаимодействия и магнитные структуры

- 2.1. Магнитное диполь- дипольное взаимодействие
- 2.2. Обменные взаимодействия
- 2.3. Ферромагнитный порядок
- 2.4. Антиферромагнетизм, ферримагнетизм

Раздел 3. Ферромагнитные металлы

- 3.1. Зонная структура ферромагнитных металлов
- 3.2. Модель Мотта зоны проводимости ферромагнитных металлов
- 3.3. Модель взаимодействия между локализованными и делокализованными электронами в проводящих магнетиках.

Раздел 4. Транспорт носителей тока в немагнитных металлах и полупроводниках

- 4.1. Классическая теория Друде- Лоренца. Кинетическое уравнение Больцмана. Магнетосопротивление металлов и полупроводников.
- 4.2. Эффект Холла.
- 4.3. Метод функций Грина. Формула Кубо для проводимости. Зарядовый и спиновый токи.
- 4.4. Спиновый эффект Холла (внутренне присущий). Модель Рашбы и Дрессельхауза.

Раздел 5. Спин-зависящий транспорт в магнитных металлах, полупроводниках и гетероструктурах

- 5.1. Дефазирование и рассеяние электронов с переворотом спина, кинетическое уравнение.
- 5.2. Анизотропное магнитосопротивление.
- 5.3. Граничное сопротивление, спиновое рассеяние на интерфейсе.
- 5.4. Спиновый эффект Холла (за счет сопротивления).

Раздел 6. Гигантское магнитосопротивление (ГМС). Туннельное магнитосопротивление

- 6.1. ГМС в металлических мультислоях, параллельная и перпендикулярная геометрия, больцмановская теория и теория Ферта- Валета.
- 6.2. Экспериментальные наблюдения эффекта ГМС.
- 6.3. Туннелирование электронов в гетеротруктурах с диэлектрическими барьерами.
- 6.4. Спин- поляризованное туннелирование.
- 6.5. Туннельное магнитосопротивление (теория и эксперимент)

Раздел 7. Спиновые клапаны (вентили) и спинэлектронные устройства для записи информации.

- 7.1. Спин- вентильный сенсор магнитного поля и его применения в устройствах для магнитной записи и хранения информации.
- 7.2. Применение спинового вентиля в качестве ячейки хранения информации, магниторезистивная память произвольного доступа.
- 7.3. Спиновый вращающий момент, переключение магниторезистивных ячеек импульсами тока.
- 7.4. Магниторезистивная память высокой интеграции.

Раздел 8. Точечные магнитные контакты. Сверхпроводящая спинтроника.

- 8.1. Омический и баллистический транспорт.
- 8.2. Магнитосопротивление точечных контактов из ферромагнитных материалов.
- 8.3. Квантование проводимости в ферромагнитных наноконтактах, квантовый спиновый клапан.

8.4. Сверхпроводящие контакты и переходы с ферромагнитной прослойкой.

8.5. Спиновые вентили на основе эффекта близости

8.6. Эффект Джозефсона в СФС контактах, сверхпроводящая память и логика на основе СФС контактов.

4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/н	№ раздела и темы	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (час.)		Оценочные средства	Формируемые компетенции
			Всего часов	Из них практическая подготовка		
1	2	3	4	5	6	7
1	1	Наноразмерные структуры и нанотехнологии	4		Устный опрос	ПК-1 ИДК _{ПК-1.1}
2	2	Магнитное диполь-дипольное взаимодействие	8		Устный опрос	
3	3	Зонная структура ферромагнитных металлов	8		Письменный опрос	
4	4	Классическая теория Друде-Лоренца. Кинетическое уравнение Больцмана. Магнетосопротивление металлов и полупроводников.	8		Устный опрос	
5	5	Дефазирование и рассеяние электронов с переворотом спина, кинетическое уравнение	4		Устный опрос	
6	6	ГМС в металлических мультислоях	4		Устный опрос	
7	7	Спин-вентильный сенсор магнитного поля и его применения в устройствах для магнитной записи и хранения информации	8		Устный опрос	
8	8	Омический и баллистический транспорт	4		Письменный опрос	

4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ п/п	Тема	Задание	Формируемая компетенция	ИДК
1	2	3	4	5
1	Наноразмерные структуры и нанотехнологии	Повторение и углубленное изучение учебного материала лекции, ПЗ с использованием конспекта лекций, литературы, Интернет – ресурсов	ПК-1	ПК-1.1
2	Антиферромагнетизм, ферромагнетизм			
3	Модель взаимодействия между локализованными и делокализованными электронами в проводящих магнетиках			
4	Спиновый эффект Холла (внутренне присущий). Модель Рашбы и Дрессельхауза			
5	Спиновый эффект Холла (за счет сопротивления)			
6	Туннельное магнитосопротивление (теория и эксперимент)			
7	Магниторезистивная память высокой интеграции			
8	Эффект Джозефсона в СФС контактах, сверхпроводящая память и логика на основе СФС контактов			

4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

а) Методические рекомендации по изучению теоретической части учебного модуля

Теоретические занятия дисциплины представлены в виде лекций.

Цель лекции – организация целенаправленной познавательной деятельности студентов по овладению программным материалом дисциплины.

Задачи лекционных занятий – дать связанное, последовательное изложение материала, сообщить студентам основное содержание предмета в целостном, систематизированном виде.

Структура и содержание основных разделов (приведена в рабочей программе учебной дисциплины, раздел 5)

Методы и средства проведения теоретических занятий

При изучении учебного модуля студенты должны посещать лекционные занятия, вести конспекты и самостоятельно прорабатывать по учебникам вопросы, указанные преподавателем. (Список основной литературы приведен разделе 8).

В ходе лекций предполагается рассматривать только основные теоретические положения. Подробное изучение теоретических положений и решение задач должно проводиться в часы проведения практических работ, а также внеаудиторной СРС. Для этого преподаватель выдает студентам рекомендации для самостоятельной работы.

б) Методические рекомендации по самостоятельной работе студентов

В разделе 4.3.2 студентам для самостоятельного углубленного изучения (параллельно с лекциями) предлагаются темы изучаемых разделов и график их изучения. Полностью на самостоятельное изучение выносятся вопросы связанные с практическими применениями полупроводниковых приборов.

Для подготовки к практическим и контрольным опросам рекомендуется пользоваться основной и дополнительной учебно-методической литературой, представленной в разделе 8 и распределенной по темам изучения в разделе 4.3.2.

4.5. Примерная тематика курсовых работ

Выполнение курсовых работ не предусмотрено учебным планом

V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

а) перечень литературы

1. Смирнов, Ю. А. Физические основы электроники : учебное пособие / Ю. А. Смирнов, С. В. Соколов, Е. В. Титов. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 560 с. — ISBN 978-5-8114-1369-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/211208>
2. Игнатов, А. Н. Микросхемотехника и наноэлектроника : учебное пособие / А. Н. Игнатов. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 528 с. — ISBN 978-5-8114-1161-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210695>
3. Киселев, Г. Л. Квантовая и оптическая электроника : учебное пособие для вузов / Г. Л. Киселев. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 316 с. — ISBN 978-5-507-44512-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/233291>
4. Филиппов, В. В. Физические основы наноэлектроники : учебное пособие / В. В. Филиппов. — Липецк : Липецкий ГПУ, 2018. — 160 с. — ISBN 978-5-88526-948-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/115011>
5. Щука, А. А. Наноэлектроника : учебник для вузов / А. А. Щука ; под общей редакцией А. С. Сигова. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 297 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-8280-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/512141>
6. Доломатов, М. Ю. Физические основы наноэлектроники : учебное пособие для вузов / М. Ю. Доломатов, Р. З. Бахтизин, Т. И. Шарипов. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 173 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-14924-1. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/520300>

б) периодические издания

в) список авторских методических разработок

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Поисковые системы Google, Yandex.
2. Электронные ресурсы доступные по логину и паролю, предоставляемые Научной библиотекой ИГУ.

VI. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Учебно-лабораторное оборудование:

Проведение лабораторных работ сопровождается демонстрацией информации (мультимедийный проектор, офисное оборудование для оперативного размножения иллюстративного и раздаточного лекционного материалов).

6.2. Программное обеспечение:

Бесплатная среда математического моделирования Modellus

6.3. Технические и электронные средства:

В ходе учебного процесса используются технические средства обучения и контроля знаний студентов (презентации, контролирующих программ, демонстрационных установок), использование которых предусмотрено методической концепцией преподавания

VII. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Чтение лекций по разделам 1 – 4 предполагает решение тематических задач в качестве примеров, подкрепляющих теоретический материал; по разделу 5 проводится деловая игра для формирования навыков выбора оптимальных вариантов решения задач.

При проведении семинарских занятий студентам (в отдельных случаях – группам студентов) предлагается решать разнообразные задачи по текущей теме семинара и обсуждать некоторые задания, предназначенные для курсовых работ.

VIII. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При изучении дисциплины для оценки достижений студентов в процессе изучения дисциплины; управления процессом приобретения студентами необходимых знаний, умений, навыков и формирования компетенций; оценки способностей студента к творческой деятельности, обеспечивающей решения новых задач, связанных с недостаточностью конкретных специальных знаний и отсутствием общепринятых алгоритмов профессионального поведения в квазиреальной деятельности; обеспечения соответствия результатов обучения задачам будущей профессиональной деятельности осуществляется поэтапный контроль степени освоения компетенций. В таблице приведены этапы освоения компетенций и виды оценочных средств, предназначенных для оценивания компетенций на разных стадиях обучения студентов.

№ п/п	Модуль, раздел (в соответствии с РП)	Контролируемые компетенции (или их части)	Вид оценочного средства
1	Раздел 1	ПК-1	Контрольный опрос
2	Раздел 2	ПК-1	Разноуровневые задания к практическим работам
3	Раздел 3	ПК-1	Разноуровневые задания к практическим работам
4	Раздел 4	ПК-1	Контрольный опрос
		ПК-1	Разноуровневые задания к практическим работам

5	Раздел 5	ПК-1	Разноуровневые задания к практическим работам
6	Раздел 6	ПК-1	Разноуровневые задания к практическим работам
7	Раздел 7	ПК-1	Разноуровневые задания к практическим работам
8	Раздел 8	ПК-1	Разноуровневые задания к практическим работам

Назначение оценочных средств ТК – выявить сформированность компетенций (ПК-1).

Ниже приведен перечень оценочных средств текущего контроля:

1. Контрольный опрос студентов по материалам лекций.

Назначение контрольного опроса - мониторинг эффективности подготовки студентов в ходе обучения. Показателем эффективности подготовки студента является получение им тестового балла превышающего пороговое значение.

Контрольный опрос состоит из 6 устных вопросов. За каждый правильный ответ студенты начисляется по 1 баллу или 2 балла, в зависимости от сложности задания. Простых заданий в опросе должно быть 2, а более сложных - 4. Контрольный опрос проводится по окончании каждой темы в ходе изучения дисциплины.

Примерные списки вопросов представлены в приложении 1 рабочей программы дисциплины

Параметры оценочного средства

Предел длительности контроля	15 мин
Предлагаемое количество вопросов из одного контролируемого раздела	5
Последовательность выборки вопросов из каждого раздела	случайная
Критерии оценки:	
«5», если	8 -10 баллов
«4», если	6-7 балл
«3», если	4-5 баллов

2. Творческое задание к практическим работам

Использование творческого задания преследует три цели: проверка степени усвоения теоретического материала из раздела 1, контроль самостоятельной работы студентов в части поиска электронных источников для написания рефератов по предложенной теме, а также подготовительный этап выполнения практических работ. Представленный проект используется для реализации на практических занятиях. По результатам выполнения индивидуального задания студент допускается к выполнению практических заданий. Полученная оценка влияет на рейтинг студента. Темы заданий представлены в приложении 2 рабочей программы дисциплины. Творческое задание студент выполняет во время самостоятельной работы поэтапно:

1. Исходный проект;

2. Обсуждение с преподавателем; Корректировка проекта (данный этап повторяется до полного устранения всех замечаний преподавателя)

3. Сдача окончательного проекта после устранения всех замечаний преподавателя.

Срок сдачи проекта – 4-я неделя обучения, перед началом цикла практических занятий.

Параметры оценочного средства

Критерии оценки:	
«5», если	Устранены все замечания по выполнению работы. Уверенно оперирует терминами, введенными в разделе 1 рабочей программы дисциплины; аргументированно использует теоретические знания из этого раздела для реализации проекта. Работа сдана в срок.
«4», если	Устранены все замечания по выполнению работы. Ошибается при использовании терминов и теоретических знаний, полученных при изучении раздела 1 рабочей программы дисциплины. Работа сдана в срок.
«3», если	Устранены все замечания по выполнению работы. Ошибается при использовании терминов, введенных в разделе 1, недостаточно прочные теоретические знания для реализации проекта. Работа сдана после установленного срока.

3. Разноуровневые задания к практическим работам

Для получения навыков работы и использованию электронных ресурсов в ходе практических работ студенты выполняют различные по сложности и направленности задания (в рамках выбранной в творческом задании предметной области).

Промежуточная аттестация проводится в форме **зачета**. Студент допускается к зачету в том случае, если он выполнит все виды промежуточного контроля и наберет пороговый балл.

В течение семестра за выполнение заданий текущего контроля студенту начисляются баллы и в конце семестра суммируется для вычисления рейтинга студента. К теоретическому экзамену допускается студент, выполнивший все виды промежуточного контроля и имеющий более 60 баллов.

Форма проведения зачета – устный по билетам / письменный по билетам. Билет состоит из одного теоретического вопроса и одного практического задания, основанного на заданиях практических работ. Билеты для приема зачета выполнены многовариантными, чтобы исключить возможность списывания и обмена информацией в ходе зачета.

Пример тестовых заданий для проверки сформированности компетенции ПК-1:

1. Скорость рекомбинации неравновесных носителей заряда в полупроводнике определяется: а) внешним источником, б) температурой, в) структурными особенностями кристалла.

2. Уровень Ферми для невырожденных полупроводников находится: а) в зоне проводимости, б) в валентной зоне, в) в запрещенной зоне.

3. Уровень Ферми для предельно вырожденных полупроводников находится: а) в запрещенной зоне, б) в одной из разрешенных зон, в) в какой-либо из нижележащих зон.

4. Модель идеального $p-n$ перехода: а) учитывает рекомбинацию носителей в переходной области, б) не учитывает рекомбинацию носителей в переходной области, в) учитывает дрейфовую составляющую плотности тока.

5. Какой вектор определяет закон преобразования волновой функции при движении электрона в периодическом поле кристаллической решетки: а) импульс, б) квазиимпульс, в) скорость

6. Характерная частота, разделяющая диапазон низких и высоких частот полупроводникового диода, определяется: а) средним временем жизни неравновесных носителей, б) дебаевским временем релаксации, в) временем пролета носителей через переходный слой

7. В собственном полупроводнике концентрации электронов и дырок: а) одинаковы, б) концентрация электронов больше концентрации дырок, в) концентрация электронов меньше концентрации дырок.

8. В примесном полупроводнике n -типа: а) концентрации электронов и дырок одинаковы, б) концентрация электронов больше концентрации дырок, в) концентрация дырок больше концентрации электронов.

9. В примесном полупроводнике p -типа: а) концентрация электронов больше концентрации дырок, б) концентрация дырок больше концентрации электронов, в) концентрации электронов и дырок одинаковы.

10. В полупроводниковом лазере для создания $p-n$ перехода необходимы: а) невырожденные полупроводники, б) вырожденные полупроводники, в) степень вырождения не имеет значения.

Разработчик:



профессор, Ю.В. Аграфонов

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учитывает рекомендации ПООП по направлению и профилю подготовки **03.03.03 Радиофизика**.

Программа рассмотрена на заседании кафедры радиофизики и радиоэлектроники «08» апреля 2024 г. протокол № 8

И.О. зав. кафедрой  Колесник С.Н.

Настоящая программа, не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.