


**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный  
университет им. Х.М. Бербекова» (КБГУ)**

**Институт информатики, электроники и робототехники  
Кафедра электроники и цифровых информационных  
технологий**

**СОГЛАСОВАНО**

Руководитель образовательной  
программы

 Мустафаев Г.А.  
« 30 » 05 2023 г.

**УТВЕРЖДАЮ**

Директора института  
 Р.Ш. Тешев

« 30 » 05 2023 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)  
Б1.В.01.03 «ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»**

Направление подготовки  
**11.03.04 – Электроника и нанoeлектроника**

Профиль: **Современные информационные технологии в  
электронной технике**

Квалификация (степень) выпускника:  
**Бакалавр**

Форма обучения:  
**Очная**

**Нальчик 2023**

Рабочая программа дисциплины (модуля) **«Твердотельная электроника»**  
/сост. Р. Ш. Тешев – Нальчик: КБГУ, 2023 г. 22 с.

Рабочая программа предназначена для преподавания дисциплины вариативной части Б1.В.ОД.3.1 студентам очной формы обучения по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, в 5 семестре 3 курса.

Рабочая программа составлена с учетом федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации «12» марта 2015 г. № 218.

## Содержание

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова» (КБГУ).....	1
Б1.В.01.03 «МИКРОЭЛЕКТРОНИКА».....	1
Квалификация (степень) выпускника:.....	1
Форма обучения:.....	1
Содержание.....	4
1. Цель и задачи дисциплины (модуля).....	5
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО.....	5
3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля).....	5
4. Содержание и структура дисциплины (модуля).....	6
4.1. Содержание разделов дисциплины (модуля).....	6
4.2. Структура дисциплины (модуля).....	8
4.3. Лабораторные работы.....	10
4.4. Курсовой проект (курсовая работа) не предусмотрен.....	11
4.5. Самостоятельное изучение разделов дисциплины.....	11
5. Образовательные технологии.....	12
6. Фонд оценочных средств для текущего и рубежного контроля успеваемости и промежуточной аттестации.....	12
6.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине.....	13
6.2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения).....	13
6.3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания.....	14
6.4. Формы и содержание рубежного контроля.....	16
6.4.1. Примерный перечень вопросов на коллоквиум по темам дисциплины.....	17
6.4.2. Образцы тестовых заданий.....	18
6.5. Форма и содержание промежуточной аттестации.....	20
6.5.1. Примерный перечень вопросов к зачету.....	20
7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины (модуля).....	21
7.1. Основная литература.....	21
7.2. Дополнительная литература.....	21
7.3. Периодические издания.....	21
7.4. Интернет-ресурсы.....	22
1. <a href="http://www.Russianelectronics.ru">http://www.Russianelectronics.ru</a> -портал «Время электроники».....	22
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины.....	22
1. Лист изменений (дополнений) в рабочей программе дисциплины.....	23

## 1. Цель и задачи дисциплины (модуля)

**Цель изучения дисциплины:** углубленное изучение физических основ и разновидностей полупроводниковых приборов, их принципа действия, основных параметров, характеристик и области применения.

## 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Дисциплина включена в вариативную часть обязательных дисциплин Б1.В.ОД.3.1 учебного плана по направлению подготовки ВО 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника профиль: «Современные информационные технологии в электронной технике».

Изучение дисциплины «Твердотельная электроника» базируется на следующих, ранее изучаемых, дисциплинах: «Физика», «Математика», «Материалы электронной техники», «Теоретические основы электротехники».

Освоение данной дисциплины, в свою очередь, необходимо для успешного усвоения, в последующем, специальных курсов по дисциплинам: «Микроэлектроника», «Твердотельные элементы СВЧ - электроники», «Проектирование и конструирование полупроводниковых приборов и интегральных схем» и других.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)

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

**ПК-1.**Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования.

**ПКС-Б.1.1.**Способен строить физические и математические модели моделей, узлов, блоков

**ПКС-Б.1.2.** Способен пользоваться методами компьютерного моделирования

В результате изучения дисциплины «Твердотельная электроника» студент должен:

**знать:** основные источники научно-технической информации по физике полупроводниковых приборов и интегральных схем, физико - технологические основы процессов полупроводниковых приборов и интегральных схем, принципы использования физических эффектов в полупроводниковых приборах и интегральных схемах, принципы действия и методы расчета основных полупроводниковых приборов, особенности приборов, изготовленных из различных полупроводниковых материалов, их преимущества и ограничения, основные методы и средства измерения параметров и характеристик полупроводниковых приборов и методы их моделирования.

**уметь:** учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности, решать задачи обработки данных с помощью современных инструментальных средств, применять методы и средства измерения физических параметров полупроводниковых приборов, применять методы расчета параметров и характеристик, моделирования полупроводниковых приборов, оценивать целесообразность использования различных полупроводниковых приборов в конкретных устройствах (схемах), осуществлять выбор полупроводниковых приборов в зависимости от требований к электрическим характеристикам, параметрам и условий эксплуатации устройств и элементов микроэлектронных устройств.

**владеть:** методами расчета характеристик полупроводниковых приборов, основными приемами обработки и представления экспериментальных данных, способностью строить физические и математические модели полупроводниковых приборов, а также использовать

стандартные программные средства их компьютерного моделирования, способностью аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники различного функционального назначения, готовностью анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.

#### 4. Содержание и структура дисциплины (модуля)

##### 4.1. Содержание разделов дисциплины (модуля)

В таблице 1 приводится описание содержания дисциплины, структурированное по разделам, с указанием по каждому разделу формы текущего контроля: защита лабораторной работы (ЛР), коллоквиум (К), рубежный контроль (РК), тестирование (Т).

Таблица 1

	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	<b>Тема 1. Электронно – дырочный переход.</b>	Классификация и назначения материалов электронной техники. Основные свойства полупроводников. Проводимость полупроводников. Образование электронно – дырочного перехода. Энергетические диаграммы $p - n$ перехода в равновесии и при смещениях. Высота потенциального барьера и контактная разность потенциалов. Диодная теория ВАХ. Реальная ВАХ $p - n$ перехода. Диффузионная теория. Энергетическая диаграмма $p - i - n$ перехода в равновесии. Ток по диффузионной теории через $p - i - n$ переход. Емкость диода. Барьерная и диффузионная емкость и их зависимости от напряжения. Пробой $p - n$ перехода. Туннельный пробой. Температурная зависимость пробивного напряжения. Тепловой пробой. Температурная зависимость пробивного напряжения. Лавинный пробой. Связь коэффициента лавинного размножения с коэффициентом ударной ионизации. Температурная зависимость пробивного напряжения. Тепловой пробой. Температурная зависимость пробивного напряжения.	К, Т
2	<b>Тема 2.</b> <i>Контакт металла с полупроводником.</i>	Энергетические диаграммы контакта металл - полупроводник. Обедненные (запорные) и обогащенные (антизапорные слои). Распределение объемного заряда и электрического поля в переходе металл – полупроводник. Ширина обедненного слоя в равновесии и при смещениях. ВАХ диодов с	ДЗ, К, Т

		контактом Шоттки. Омический контакт.	
3	<b>Тема 3.</b> <i>Биполярный транзистор (БТ).</i>	Биполярный транзистор. Структура. Режимы работы. Схемы включения. Принцип работы БТ. Коэффициенты усиления при различных схемах включения. Статические параметры при различных режимах работы БТ. Статические характеристики в схемах с ОБ и ОЭ. Пробой транзистора.	ЛР, ДЗ, К, Т
4	<b>Тема 4.</b> <i>Тиристоры.</i>	Тиристоры. Структура диодного тиристора (динистора). Принцип работы. ВАХ динистора. Триодный тиристор (тринистор). Принцип действия. ВАХ тринистора в закрытом состоянии.	ЛР, ДЗ, К, Т
5	<b>Тема 5.</b> <i>Полевые транзисторы.</i>	Полевой транзистор с управляющим р – n переходом. Структура и принцип работы. Статические характеристики и малосигнальные параметры. Частотные характеристики. МДП - транзистор с индуцированным каналом. Структура. Принцип работы. Статические характеристики. МДП – транзистор с встроенным каналом. Структура. Принцип работы. Статические характеристики. Приборы с зарядовой связью. Структура. Принцип действия. Характеристики и параметры.	ЛР, ДЗ, К, Т
6	<b>Тема 6.</b> <i>Приборы на основе объемных эффектов.</i>	Туннельный диод. Принцип действия. Зонные диаграммы ВАХ. Эквивалентная схема ТД. Основные параметры. Обращенный диод. Лавинно – пролетный диод. Условия появления отрицательного динамического сопротивления и его физический смысл. Структура и принцип действия ЛДП. Лавинно – пролетный режим. Режим с захваченной плазмой. Эффект Ганна. Междолинный переход электронов и ОДС. Принцип действия диода Ганна. Пролетный режим.	ЛР, ДЗ, К, Т
7	<b>Тема 7.</b> <i>Оптоэлектронные полупроводниковые приборы.</i>	Классификация оптоэлектронных полупроводниковых приборов. Полупроводниковые приборы отображения информации и инфракрасные излучающие диоды. Лазеры. Принцип действия. Конструкция и технология изготовления инжекционных лазеров. Основные характеристики и параметры. Фоторезисторы и фотодиоды. Технология изготовления и конструкция. Основные характеристики и параметры. Фотоэлементы, фототранзисторы и фототиристоры. Основные параметры и характеристики.	ЛР, ДЗ, К, Т

#### 4.2. Структура дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц (108 часов).

Таблица 2

Вид работы	Трудоемкость, часы	
	5 семестр	Всего
<b>Общая трудоемкость (в зачетных единицах)</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Контактная работа (в часах):</b>	<b>51</b>	<b>51</b>
<i>Лекции (Л)</i>	34	34
<i>Лабораторные работы (ЛР)</i>	17	17
<b>Самостоятельная работа (в часах):</b>	<b>48</b>	<b>48</b>
Курсовой проект (КП) Курсовая работа (КР)		
Самостоятельное изучение разделов	48	48
<b>Подготовка и прохождение промежуточной аттестации</b>	<b>27</b>	<b>27</b>
<b>Вид промежуточной аттестации</b>	<b>зачет</b>	

### Темы, изучаемые в 5 семестре

Таблица 3

№ раз-дела	Наименование тем	Количество часов				
		Всего	Контактная работа			СР
			Л	ПЗ	ЛР	
1	2	3	4	5	6	7
1	Классификация и назначения материалов электронной техники. Основные свойства полупроводников. Проводимость полупроводников. Образование электронно – дырочного перехода. Энергетические диаграммы р – n перехода в равновесии и при смещениях. Высота потенциального барьера и контактная разность потенциалов. Диодная теория ВАХ. Реальная ВАХ р – n перехода. Диффузионная теория. Энергетическая диаграмма р – i – n перехода в равновесии. Ток по диффузионной теории через р – i – n переход. Емкость диода. Барьерная и диффузионная емкость и их зависимости от напряжения. Пробой р – n перехода. Туннельный пробой. Температурная зависимость пробивного напряжения.	14	8		6	

	Лавинный пробой. Связь коэффициента лавинного размножения с коэффициентом ударной ионизации. Температурная зависимость пробивного напряжения. Тепловой пробой. Температурная зависимость пробивного напряжения.					
2	Энергетические диаграммы контакта металл - полупроводник. Объединенные (запорные) и обогащенные (антизапорные слои). Распределение объемного заряда и электрического поля в переходе металл – полупроводник. Ширина объединенного слоя в равновесии и при смещениях. ВАХ диодов с контактом Шоттки. Омический контакт.	8	4		4	
3	Биполярный транзистор. Структура. Режимы работы. Схемы включения. Принцип работы БТ. Коэффициенты усиления при различных схемах включения. Статические параметры при различных режимах работы БТ. Статические характеристики в схемах с ОБ и ОЭ. Пробой транзистора.	24	4		2	18
4	Тиристоры. Структура диодного тиристора (динистора). Принцип работы. ВАХ динистора. Триодный тиристор (тринистор). Принцип действия. ВАХ тринистора в закрытом состоянии.	14	2		2	10
5	Полевой транзистор с управляющим р – n переходом. Структура и принцип работы. Статические характеристики и малосигнальные параметры. Частотные характеристики. МДП - транзистор с индуцированным каналом. Структура. Принцип работы. Статические характеристики. МДП – транзистор с встроенным каналом. Структура. Принцип работы. Статические характеристики. Приборы с зарядовой связью. Структура. Принцип действия. Характеристики и параметры.	27	6		4	17
6	Туннельный диод. Принцип действия. Зонные диаграммы ВАХ. Эквивалентная схема ТД. Основные параметры. Обращенный диод. Лавинно – пролетный диод. Условия появления отрицательного динамического сопротивления и его физический смысл. Структура и принцип действия ЛДП. Лавинно – пролетный режим. Режим с	27	6		4	17



	захваченной плазмой. Эффект Ганна. Междолинный переход электронов и ОДС. Принцип действия диода Ганна. Пролетный режим.					
7	Классификация оптоэлектронных полупроводниковых приборов. Полупроводниковые приборы отображения информации и инфракрасные излучающие диоды. Лазеры. Принцип действия. Конструкция и технология изготовления инжекционных лазеров. Основные характеристики и параметры. Фоторезисторы и фотодиоды. Технология изготовления и конструкция. Основные характеристики и параметры. Фотоэлементы, фототранзисторы и фототиристоры. Основные параметры и характеристики.	26	6		4	16
8	Подготовка к тестированию, коллоквиуму, выполнению и защите лабораторных работ, зачету, экзамену, курсовой работе.	40			10	30
<b>Итого</b>		<b>180</b>	<b>36</b>	<b>-</b>	<b>36</b>	<b>108</b>

### 4.3. Лабораторные работы

Лабораторный практикум является важным элементом обучения, т.к. прививает навыки самостоятельной работы на различном лабораторном оборудовании и умение пользоваться различными приборами и инструментами.

#### Общие требования к студенту, выполняющему лабораторный практикум

Выполнение каждой лабораторной работы складывается из следующих этапов.

**1. Самостоятельная подготовка студентов к работе.** Перед началом работы студенты должны четко представлять себе цель работы, знать схему, метод измерения, физическую сущность ожидаемых результатов. Должен быть подготовлен протокол измерений, содержащий таблицы для записи результатов измерений и основные расчетные формулы. Студенты, не подготовившиеся к работе в соответствии с этими требованиями, к выполнению работы не допускаются.

**2. Проведение эксперимента.** Этот этап осуществляется в соответствии с методическими указаниями, которые содержатся в описании к каждой работе. Лабораторные измерения на стенде студент может начать только после собеседования с преподавателем и получения соответствующего допуска. Любые изменения в схеме проводятся при отключении схемы от источника напряжения. Результаты измерения проверяются преподавателем.

**3. Составление отчета о проделанной работе. К отчету о выполненной работе предъявляются следующие требования:**

3.1. Отчет должен содержать исчерпывающие данные, как о цели работы, так и о результатах в следующей последовательности:

- задание;

- схема установки и описание методики измерений;
- первичные экспериментальные результаты за подписью преподавателя;
- результаты обработки экспериментальных данных, включая графики, таблицы;
- общие выводы о работе и заключение, о качестве исследованных материалов.

3.2. Текст отчета должен быть написан аккуратно и разборчиво от руки или представлен в виде распечатки, после компьютерной верстки. В обоих случаях текст должен представлять собой логическое изложение существа вопроса. Недопустимо приведение формул, таблиц без разъяснений всех обозначений и сокращений. Отчет должен быть понятен для каждого читающего без каких-либо дополнительных вопросов у составителей отчета.

3.3. Полученные зависимости должны сопровождаться теоретическим обоснованным объяснением причин, влияющих на их ход, для чего в процессе составления отчета студент обязан по литературным источникам ознакомиться с материалом, который был объектом его исследования в лаборатории. Без такого ознакомления с испытуемым методом студент не будет в состоянии дать правильный анализ процессов, происходящих в материале при эксперименте.

4. **Защита лабораторной работы с представлением отчета.** При сдаче отчета студенты должны показать понимание сущности физических явлений в исследованных материалах, объяснить полученные результаты и сделать выводы. При работе в лаборатории необходимо строго выполнять все правила техники безопасности и указания преподавателя.

#### Перечень лабораторных работ

Таблица 4

№ Л Р	Наименование лабораторных работ	Кол-во часов
1	2	3
1	Изучение физических процессов, происходящих в структуре с p-n переходом.	2
2	Электрические свойства электронно-дырочных переходов.	2
3	Исследование импульсивных характеристик диодов.	2
4	Исследование туннельных диодов.	2
5	Исследование статистических параметров маломощных транзисторов и диодов.	2
6	Исследование частотных свойств БТ.	2
7	Изучение статистических характеристик биполярного транзистора.	2
8	Исследование полевых транзисторов.	4
9	Исследование характеристик полупроводниковых приборов на установке Л2-56.	4
10	Изучение статистических характеристик управляемых тиристоров типа p-n-p-n.	4
11	Подготовка к защите и защита лабораторных работ	10
<b>Итого:</b>		<b>36</b>

4.4. Курсовой проект (курсовая работа) не предусмотрен

4.5. Самостоятельное изучение разделов дисциплины

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.

Ниже приводится перечень вопросов, выносимых на самостоятельное изучение по разделам дисциплины с указанием примерного объема часов:

Таблица 5

№ раздела	Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	Кол-во часов
1	2	3
1	Биполярный транзистор (БТ)	18
2	Полевые транзисторы	17
3	Приборы на основе объемных эффектов	17
4	Оптоэлектронные полупроводниковые приборы.	16
5	Подготовка к тестированию, коллоквиуму, курсовой работе, зачету, экзамену, выполнению и защите лабораторных работ, выполнение курсовой работы	13
<b>Итого:</b>		<b>81</b>

## 5. Образовательные технологии

Лекционные занятия проводятся в форме лекций с использованием компьютерных презентаций. Контроль текущих знаний для студентов проводится в рамках компьютерного тестирования по базе контрольных заданий составленных для каждого модуля.

При выполнении лабораторного практикума студенты в обязательном порядке проводят обработку экспериментальных данных с применением программных сред Microsoft Excel, MathCad.

В таблице 6 приводится перечень активных и интерактивных образовательных технологий по видам аудиторных занятий и их объем в часах.

### Активные и интерактивные образовательные технологии, используемые в аудиторных занятиях

Таблица 6

Вид занятия	Используемые активные и интерактивные образовательные технологии	Количество часов
Л	Лекции проводятся с использованием мультимедийных технологий в аудиториях, оснащенных ноутбуком, проектором и интерактивной доской.	12
ЛР	При выполнении лабораторного практикума студенты в обязательном порядке проводят обработку экспериментальных	12

	данных с применением программных сред Microsoft Excel, MathCad.	
<b>Итого</b>		<b>24</b>

## 6. Фонд оценочных средств для текущего и рубежного контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Формы контроля текущих, рубежных и промежуточных знаний студентов по дисциплине определяются в соответствии с учебным планом образовательной программы и в соответствии с действующим Положением о балльно-рейтинговой системе оценки успеваемости студентов КБГУ.

От обучающихся требуется посещение занятий, выполнение лабораторных работ, знакомство с рекомендованной литературой.

При аттестации обучающихся оценивается качество работы на занятиях (умение вести дискуссию, способность четко и ёмко формулировать свои мысли), уровень подготовки к самостоятельной деятельности, качество выполнения заданий (презентаций, докладов, выполнение лабораторных работ и др.).

### 6.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

Таблица 7

Контрольные точки	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или её части)	Наименование оценочного средства
1.	По материалам лекций № 1-6	ПК-1	Устный опрос по темам и вопросам на СР; выполнение 3 лабораторных работ; тестирование.
2	По материалам лекций № 7-12	ПК-1	Устный опрос по темам и вопросам на СР; выполнение 3 лабораторных работ; тестирование.
3	По материалам лекций № 13-18	ПК-1	Устный опрос по темам и вопросам на СР; выполнение 4 лабораторных работ; тестирование.

### 6.2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения)

Компетенции	Формулировка компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)
-------------	-------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------

Общекультурные	<p><b>ПКС-1.</b> Способен проводить техническое обслуживание радиоэлектронной аппаратуры</p>	<p><b>Знать:</b> основные источники научно-технической информации по физике полупроводниковых приборов и интегральных схем, физико - технологические основы процессов полупроводниковых приборов и интегральных схем, принципы использования физических эффектов в полупроводниковых приборах и интегральных схемах, принципы действия и методы расчета основных полупроводниковых приборов, особенности приборов, изготовленных из различных полупроводниковых материалов, их преимущества и ограничения, основные методы и средства измерения параметров и характеристик полупроводниковых приборов и методы их моделирования.</p> <p><b>Уметь:</b> учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности, решать задачи обработки данных с помощью современных инструментальных средств, применять методы и средства измерения физических параметров полупроводниковых приборов, применять методы расчета параметров и характеристик, моделирования полупроводниковых приборов, оценивать целесообразность использования различных полупроводниковых приборов в конкретных устройствах (схемах), осуществлять выбор полупроводниковых приборов в зависимости от требований к электрическим характеристикам, параметрам и условий эксплуатации устройств и элементов микросистемных устройств.</p> <p><b>Владеть:</b> методами расчета характеристик полупроводниковых приборов, основными приемами обработки и представления экспериментальных данных, способностью строить физические и математические модели полупроводниковых приборов, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования, способностью аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники различного функционального назначения, готовностью анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.</p>
----------------	----------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### 6.3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания

Схема оценки уровня формирования компетенции «*способность к самоорганизации и самообразованию -ОК-7*» (приводится содержание компетенции из ФГОС ВО)

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивая результатов обучения		
	Удовлетворительно 56-70 баллов	Хорошо 71-85 баллов	Отлично 86-100 баллов
Самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности знания и умения, в том числе в новых областях знаний, связанных с элементами и приборами нанoeлектроники;	Ознакомлен с основными элементами и приборами нанoeлектроники, областями их применения. Есть понимание о роли самоорганизации и самообразования при решении задач, связанных с профессиональной деятельностью;	Демонстрирует хорошие знания и умения, связанные с элементами и приборами нанoeлектроники, и их свойствами, в конкретных ситуациях. Имеет способности самостоятельного решения задач в области профессиональной деятельности посредством самоорганизации и самообразования.	Демонстрирует чёткие определения основных понятий и готовность к пониманию типовых подходов к применению элементов и приборов нанoeлектроники. Способен самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения. Способен самостоятельно решать задачи в области профессиональной деятельности.

Схема оценки уровня формирования компетенции: «*Способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности (ОПК-7)*» (приводится содержание компетенции из ФГОС ВО).

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивая результатов обучения		
	Удовлетворительно 56-70 баллов	Хорошо 71-85 баллов	Отлично 86-100 баллов
Знает современные тенденции в области физики конденсированного состояния	Испытывает трудности при демонстрации знаний о современных тенденциях в области физики конденсированного состояния	Допускает неточности при объяснении современных тенденций в области физики конденсированного состояния	Имеет четкое представление о современных тенденциях в области физики конденсированного состояния
Знает основные направления развития современной элементной базы микро- и	Плохо ориентируется в направлениях развития современной	Допускает неточности при объяснении основных направлений	Четко объясняет основные направления развития современной

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивая результатов обучения		
	Удовлетворительно 56-70 баллов	Хорошо 71-85 баллов	Отлично 86-100 баллов
нанoeлектроники	элементной базы микро- и нанoeлектроники	развития современной элементной базы микро- и нанoeлектроники	элементной базы микро- и нанoeлектроники
Умеет учитывать современные тенденции развития электроники	Испытывает трудности при понимании современных тенденций развития электроники	Недостаточно четко оценивает и учитывает современные тенденции развития электроники	Способен грамотно учитывать современные тенденции развития электроники
Имеет представление о перспективах развития микроэлектроники	Испытывает трудности при демонстрации знаний о перспективах развития микроэлектроники	Допускает неточности при демонстрации знаний о перспективах развития микроэлектроники	Имеет целостное представление о перспективах развития микроэлектроники
Владеет методами развития информационных технологий	Слабо владеет методами развития информационных технологий	Недостаточно уверенно владеет методами развития информационных технологий	Достаточно уверенно владеет методами развития информационных технологий
Способен учитывать современные тенденции развития электроники в своей профессиональной деятельности	Учитывает частично современные тенденции развития электроники в своей профессиональной деятельности	Способен учитывать основные современные тенденции развития электроники в своей профессиональной деятельности	Способен учитывать современные тенденции развития электроники в своей профессиональной деятельности

#### 6.4. Формы и содержание рубежного контроля

Рубежный и промежуточный контроль освоения студентом дисциплины осуществляется в рамках балльно-рейтинговой системы. Распределение баллов в соответствии с действующим Положением о балльно-рейтинговой системе оценки успеваемости студентов КБГУ приведено в таблице 8.

Таблица 8

№ рейтинговой точки	Коллоквиум	Лаб.практикум	Посещаемость	Тестирование	Итого
1	7	8	3	5	<b>23</b>
2	7	8	3	5	<b>23</b>
3	7	8	4	5	<b>24</b>

Критерии оценки приведены в таблице 9.

Таблица 9

Вид мероприятия	Критерии оценки	Баллы
Коллоквиум (устный опрос по теме)	- ясность, четкость и доказательность изложения ответов на вопросы; - владение специальными терминами; - системность знаний по тематике;	0-21 балл
Лабораторное занятие	- понимание цели и задач работы; - допуск к работе (теоретические основы метода измерения); - выполнение измерений и обработка результатов; - отчет и защита лабораторной работы.	0-24 балла
Компьютерное тестирование по разделам дисциплины	- результаты тестирования (Количество баллов = $5 \cdot \varphi$ , -доля правильно отвеченных тестов по теме).	0-15 баллов
Посещение занятий	- при более 3 пропусках без уважительной причины занятий баллы аннулируются.	0-10 баллов
Экзамен	- ясность, четкость и доказательность изложения ответов на вопросы; - владение специальными терминами; - системность знаний по тематике дисциплины в целом.	0-30 баллов
<b>Итоговая оценка</b>		0-100 баллов

В соответствии с действующим Положением о балльно-рейтинговой системе оценка успеваемости студентов КБГУ используется следующая шкала дифференцирования баллов по пятибалльной системе:

- оценка «отлично» выставляется студенту, если набрано 86 – 100 баллов;
- оценка «хорошо» выставляется, если набрано 71 – 85 баллов;
- оценка «удовлетворительно» выставляется, если набрано 56 – 70 баллов;
- оценка «неудовлетворительно» выставляется, если набрано 36-55 баллов.

#### 6.4.1. Примерный перечень вопросов на коллоквиум по темам дисциплины

1. Диффузионный ток в полупроводниках. Закон полного тока.
2. Уравнение непрерывности. Диффузионная длина носителей заряда.
3. Виды электрических контактов, требования к ним.
4. Р-n-переход в равновесии.
5. Р-n-переход в смещении.
6. ВАХ идеального и реального р-n-перехода.



7. Принцип действия, режимы работы, характеристики, условное графическое обозначение и маркировка диодов: выпрямительных, ВЧ, импульсных.
8. Принцип действия, режимы работы, характеристики, условное графическое обозначение и маркировка диодов: варикапов, стабилитронов, стабисторов.
9. Принцип действия, ВАХ, обозначение туннельного диода.
10. Выпрямляющий контакт металл-полупроводник в равновесии.
11. Выпрямляющий контакт металл-полупроводник в смещении. Диодная и диффузионная теории выпрямления.
12. Контакт металл – полупроводник с омическими свойствами. Способы формирования.
13. Структура и принцип действия биполярных транзисторов.
14. Режимы работы, схемы включения, параметры биполярных транзисторов.
15. Особенности ВАХ, дифференциальные коэффициенты передачи биполярного транзистора, включенного по схеме ОБ.
16. Особенности ВАХ, дифференциальные коэффициенты передачи биполярного транзистора, включенного по схеме ОЭ.
17. Типы тиристоров. Схемы включения, параметры и ВАХ тиристоров.
18. Эффект поля. МДП-структура. Поверхностная проводимость.
19. Вольтфарадные характеристики МДП-структуры. Поверхностный варикап.
20. Структура и принцип действия МДП-транзисторов с индуцированным каналом.
21. Структура и принцип действия МДП-транзисторов со встроенным каналом.
22. ВАХ и параметры МДП-транзисторов со встроенным каналом.
23. Полупроводниковые приборы отображения информации и инфракрасные излучающие диоды.
24. Лазеры. Принцип действия. Конструкция и технология изготовления инжекционных лазеров. Основные характеристики и параметры.
25. Фоторезисторы. Технология изготовления и конструкция. Основные характеристики и параметры.
26. Фотодиоды. Технология изготовления и конструкция. Основные характеристики и параметры.
27. Фотоэлементы, фототранзисторы и фототиристоры. Основные параметры и характеристики.

#### 6.4.2. Образцы тестовых заданий

1. При увеличении площади р-п перехода на обратную ветвь ВАХ р-п перехода при постоянном напряжении обратный ток
  - а) Уменьшается;
  - б) Увеличивается;
  - в) Не изменяется;
  - г) Равен нулю.
2.  $I_{\partial}$ - это
  - а) Ток дрейфа р-п перехода;
  - б) Прямой ток р-п перехода;
  - в) Диффузионный ток;
  - г) Ток насыщения или тепловой ток.
3. Прямой ток на ВАХ р-п перехода возрастает с повышением температуры, т.к.
  - а) Потенциальный барьер увеличивается при постоянном напряжении;
  - б) Потенциальный барьер уменьшается при постоянном напряжении;
  - в) Потенциальный барьер не изменяется при постоянном напряжении.
4. При лавинном пробое с увеличением температуры пробивное напряжение

увеличивается, т.к.

- а) Длина свободного пробега увеличивается, а, следовательно, увеличивается и энергия, которую может приобрести носитель на длине свободного пробега, для ионизации атома полупроводника;
- б) Длина свободного пробега не изменяется, а, следовательно, не изменяется и энергия, которую может приобрести носитель на длине свободного пробега, для ионизации атома полупроводника;
- в) Длина свободного пробега уменьшается, а, следовательно, уменьшается и энергия, которую может приобрести носитель на длине свободного пробега, для ионизации атома полупроводника;
- г) Длина свободного пробега уменьшается, а, следовательно, увеличивается энергия, которую может приобрести носитель на длине свободного пробега, для ионизации атома полупроводника.

5. Тепловым пробоем называется

- а) Прохождение обратного тока в р-п переходе, при котором выделяется определенное количество тепла и если оно превосходит количество тепла, отводимое от р-п перехода, то температура начнет повышаться, что приведет к пробое;
- б) Прохождение обратного тока в р-п переходе, при котором выделяется определенное количество тепла и если оно не превосходит количество тепла, отводимое от р-п перехода, то температура начнет повышаться, что приведет к пробое;
- в) Прохождение обратного тока в р-п переходе, при котором выделяется определенное количество тепла и если оно превосходит количество тепла, отводимое от р-п перехода, то температура не изменится, что приведет к пробое;

6. Укажите формулу ширины ОПЗ в общем виде.

- а)  $d = \sqrt{\frac{2 E E_0}{e} \cdot \frac{Na + Nd}{Na \cdot Nd} \cdot (\varphi_k \pm u)}$ ;
- б)  $d = \sqrt{\frac{e}{2 E E_0} \cdot \frac{Na + Nd}{Na \cdot Nd} \cdot (\varphi_k \pm u)}$ ;
- в)  $d = \sqrt{\frac{2 E E_0}{e} \cdot \frac{Na + Nd}{Na - Nd} \cdot (\varphi_k \pm u)}$ ;
- г)  $d = \sqrt{\frac{2 E}{e E_0} \cdot \frac{Na + Nd}{Na \cdot Nd} \cdot (\varphi_k \pm u)}$ .

7. При прямом смещении в р-п переходе происходит

- а) Экстракция;
- б) Инжекция;
- в) Экстракция и инжекция;
- г) Дрейф носителей заряда.

8. Диффузионная теория – это теория толстого перехода, когда

- а) Ширина ОПЗ много меньше диффузионной длины  $d \ll L$ ;
- б) Ширина ОПЗ много больше диффузионной длины  $d \gg L$ ;
- в) Ширина ОПЗ равна диффузионной длине  $d = L$ ;
- г) Ширина ОПЗ меньше либо равна диффузионной длине  $d \leq L$ .

9. Пробивное напряжение уменьшается, при туннельном пробое с увеличением температуры, т.к.

- а) Ширина запрещенной зоны уменьшается, и уменьшается толщина потенциального барьера, что позволяет туннелировать, при меньших напряжениях;

- б) Ширина запрещенной зоны увеличивается, и увеличивается толщина потенциального барьера, что позволяет туннелировать, при меньших напряжениях;
  - в) Ширина запрещенной зоны увеличивается, и уменьшается толщина потенциального барьера, что позволяет туннелировать, при больших напряжениях;
  - г) Ширина запрещенной зоны уменьшается, и увеличивается толщина потенциального барьера, что позволяет туннелировать, при больших напряжениях.
10.  $\tau_i$  – это
- а) Время жизни дырок;
  - б) Время жизни электронов;
  - в) Время жизни ионов;
  - г) Время жизни носителей собственного п/п.

*Полный перечень тестов приводится в банке тестовых заданий КБГУ*

## **6.5. Форма и содержание промежуточной аттестации**

Изучение дисциплины «Твердотельная электроника» заканчивается зачетом.

### **6.5.1. Примерный перечень вопросов к зачету**

1. Диффузионный ток в полупроводниках. Закон полного тока.
2. Уравнение непрерывности. Диффузионная длина носителей заряда.
3. Виды электрических контактов, требования к ним.
4. Р-п-переход в равновесии.
5. Р-п-переход в смещении.
6. ВАХ идеального и реального р-п-перехода.
7. Принцип действия, режимы работы, характеристики, условное графическое обозначение и маркировка диодов: выпрямительных, ВЧ, импульсных.
8. Принцип действия, режимы работы, характеристики, условное графическое обозначение и маркировка диодов: варикапов, стабилитронов, стабилиторов.
9. Принцип действия, ВАХ, обозначение туннельного диода.
10. Выпрямляющий контакт металл-полупроводник в равновесии.
11. Выпрямляющий контакт металл-полупроводник в смещении. Диодная и диффузионная теории выпрямления.
12. Контакт металл – полупроводник с омическими свойствами. Способы формирования.
13. Структура и принцип действия биполярных транзисторов.
14. Режимы работы, схемы включения, параметры биполярных транзисторов.
15. Особенности ВАХ, дифференциальные коэффициенты передачи биполярного транзистора, включенного по схеме ОБ.
16. Особенности ВАХ, дифференциальные коэффициенты передачи биполярного транзистора, включенного по схеме ОЭ.
17. Структура и принцип действия тиристоров.
18. Типы тиристоров. Схемы включения, параметры и ВАХ тиристоров.
19. Эффект поля. МДП-структура. Поверхностная проводимость.
20. Вольтфарадные характеристики МДП-структуры. Поверхностный варикап.
21. Структура и принцип действия МДП-транзисторов с индуцированным каналом.
22. ВАХ и параметры МДП-транзисторов с индуцированным каналом.
23. Структура и принцип действия МДП-транзисторов со встроенным каналом.
24. ВАХ и параметры МДП-транзисторов со встроенным каналом.

25. Классификация оптоэлектронных полупроводниковых приборов.
26. Полупроводниковые приборы отображения информации и инфракрасные излучающие диоды.
27. Лазеры. Принцип действия. Конструкция и технология изготовления инжекционных лазеров. Основные характеристики и параметры.
28. Фоторезисторы. Технология изготовления и конструкция. Основные характеристики и параметры.
29. Фотодиоды. Технология изготовления и конструкция. Основные характеристики и параметры.
30. Фотоэлементы, фототранзисторы и фототиристоры. Основные параметры и характеристики.

## **7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины (модуля)**

### **7.1. Основная литература**

1. Гуртов В.А. Твердотельная электроника: учебное пособие для вузов по направлению 010700 "Физика" и специальности 010701 "Физика" / В. А. Гуртов. – 2-е изд., доп. – М.: Техносфера, 2005. – 408 с.
2. Шалимова, К.В. Физика полупроводников. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб.: Лань, 2010. — 384 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/648> — Загл. с экрана.
3. Троян, П.Е. Твердотельная электроника. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М.: ТУСУР, 2008. — 330 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/4966> — Загл. с экрана.

### **7.2. Дополнительная литература**

4. Дьяконов, В.П. Сверхскоростная твердотельная электроника. Т. 1: Приборы общего назначения. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : ДМК Пресс, 2013. — 600 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/9121> — Загл. с экрана.
5. Дьяконов, В.П. Сверхскоростная твердотельная электроника. Т. 2: Приборы специального назначения. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : ДМК Пресс, 2013. — 576 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/9122> — Загл. с экрана.
6. Лебедев А.И. Физика полупроводниковых приборов. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. М.: Физматлит, 2008. - 488 с. - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922109956.html>
7. О.В. Миловзоров, И.Г. Панков. Электроника. Учебник для вузов 4-е изд., стер. - М.: ВШ. 2008. (Электронный учебник в библиотеке КБГУ, режим доступа <http://lib.kbsu.ru>).
8. А.Л. Марченко. Основы электроники, уч. пос. для вузов. [Электронный ресурс] — Электрон. дан - изд. ДМК Пресс. 2000. - ЭБС «КнигаФонд» - Режим доступа: <http://www.knigafund.ru>
9. М.А. Жаворонков, А.В. Кузин. Электротехника и электроника: уч. пос. - М.-Л: Академия, 2005. - 49 экз.
10. Н.М. Тугов и др. Полупроводниковые приборы. - М.: Энергоатомиздат. 1996.

### **7.3. Периодические издания**

Перечень периодических изданий, получаемых библиотекой КБГУ, в которых студент может ознакомиться с современными достижениями в области электроники, микро и наноэлектроники:

- Физика. (Физика полупроводниковых проводников и диэлектриков, квантовая электроника). Известия ВУЗов.
- Электроника.
- Физика и технология полупроводников.
- Микроэлектроника.
- Квантовая электроника.

#### **7.4. Интернет-ресурсы**

1. <http://www.Russianelectronics.ru> -портал «Время электроники»
2. <http://www.platan.ru> – каталог электронных компонентов
3. <http://metodist.lbz.ru/iumk/nano/lections.php> - видеоролики по нанотехнологии
4. <http://nano.fcior.edu.ru> – каталог научно- образовательных ресурсов для наноиндустрии.

### **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Лекции по дисциплине проводятся в аудитории, оснащенной ноутбуком, проектором и интерактивной доской.

Лабораторный практикум проводится в учебной лаборатории «Твердотельная электроника».

Студенты имеют доступ через Интернет доступ к единому образовательному portalу, где в открытом доступе имеются ресурсы учебно-методической литературы, являющиеся разработками ведущих ВУЗов России.

**1. Лист изменений (дополнений) в рабочей программе дисциплины**  
**«Физика конденсированного состояния»**  
**по направлению подготовки 11.03.04 Современные информационные технологии в**  
**электронной технике**  
**на 202\_\_\_ – 202\_\_\_ учебный год**

№ п/п	Элемент (пункт) РПД	Перечень вносимых изменений	Примечание

Обсуждена и рекомендована на заседании кафедры физических основ микро- и наноэлектроники,  
 протокол № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ / Р.Ш.Тешев/