

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ)

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель Ученого совета факультета радиотехники и электроники

проф. Небольсин В.А. _____

(подпись)

_____ 2016 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

Физика полупроводников

(наименование дисциплины по учебному плану ООП)

для направления подготовки (специальности): 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
(код, наименование)

Профиль подготовки (специализация): Микроэлектроника и твердотельная электроника
(название профиля, магистерской программы, специализации по УП)

Форма обучения очная Срок обучения нормативный

Кафедра полупроводниковой электроники и нанoeлектроники
(наименование кафедры-разработчика УМКД)

УМКД разработал: Рембеза С.И., д. ф.-м. н.
(Ф.И.О., ученая степень авторов разработки)

Рассмотрено и одобрено на заседании методической комиссии ФРТЭ
(наименование факультета)

Протокол № _____ от « _____ » _____ 2016 г.

Председатель методической комиссии Москаленко А.Г.
(Ф.И.О)

Воронеж 2016 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
 ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
 ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
 «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
 (ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ)

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель Ученого совета факультета радиотехники и электроники

проф. Небольсин В.А. _____

(подпись)

_____ 2016 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Физика полупроводников

(наименование дисциплины (модуля) по УП)

Закреплена за кафедрой: полупроводниковой электроники и наноэлектроники

Направление подготовки (специальности): 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
 (код, наименование)

Профиль: Микроэлектроника и твердотельная электроника
 (название профиля по УП)

Часов по УП: 72; Часов по РПД: 72;

Часов по УП (без учета часов на экзамены): 72; Часов по РПД: 72;

Часов на самостоятельную работу по УП: 36 (50%);

Часов на самостоятельную работу по РПД: 36 (50%)

Общая трудоемкость в ЗЕТ: 2

Виды контроля в семестрах (на курсах): Экзамены - 0; Зачеты - 6; Зачеты (с оценкой) - 0;

Курсовые проекты - 0; Курсовые работы - 0.

Форма обучения: очная;

Срок обучения: нормативный.

Распределение часов дисциплины по семестрам

Вид занятий	№ семестров, число учебных недель в семестрах																	
	1 / 18		2 / 18		3 / 18		4 / 18		5 / 18		6 / 18		7 / 18		8 / 12		Итого	
	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД
Лекции											18	18					18	18
Лабораторные											18	18					18	18
Практические											-	-					-	-
Ауд. занятия											36	36					36	36
Сам. работа											36	36					36	36
Итого											72	72					72	72

Сведения о ФГОС, в соответствии с которым разработана рабочая программа дисциплины (модуля) – 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника». Утвержден приказом Министерства образования Российской Федерации от 12 марта 2015 г. №218.

Программу составил: _____ д.ф.-м.н., Рембеза С.И.
(подпись, ученая степень, ФИО)

Рецензент (ы): _____ Коваленко П.Ю., к.т.н., зам. гл. инженера АО «ВЗПП-С»

Рабочая программа дисциплины составлена на основании учебного плана подготовки бакалавров по направлению 11.03.04 “Электроника и наноэлектроника”, профиль “Микроэлектроника и твердотельная электроника”.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры полупроводниковой электроники и наноэлектроники

протокол № _____ от _____ 2016 г.

Зав. кафедрой ППЭНЭ _____ С.И. Рембеза

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1	Цель изучения дисциплины – формирование у студентов научной основы для осознанного и целенаправленного использования физических свойств полупроводников для создания приборов и устройств микро и нанoeлектроники.
1.2	Для достижения цели ставятся задачи:
1.2.1	расширение научного кругозора и эрудиции студентов на базе изучения фундаментальных закономерностей физики полупроводников и освоение способов практического использования свойств полупроводников;
1.2.2	развитие понимания связи физических свойств полупроводников с параметрами изделий микроэлектроники на базе этих материалов;
1.2.3	практическое овладение методами теоретического описания физических свойств полупроводников, владение навыками постановки физического эксперимента по изучению основных свойств и параметров полупроводников;
1.2.4	владение экспериментальными методами контроля свойств полупроводников;
1.2.5	создание основы для последующего изучения вопросов физики полупроводниковых приборов, включая устройства и приборы нанoeлектроники, твердотельной электроники и технологии микро- и наносистем.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Цикл (раздел) ООП: Б1	код дисциплины в УП: Б1.В.ДВ.4.1
2.1 Требования к предварительной подготовке обучающегося	
Для успешного освоения дисциплины студент должен иметь знания, полученные при изучении дисциплин:	
Б1.Б.5	«Математика»
Б1.Б.6	«Физика»
Б1.Б.7	«Химия»
Б1.В.ДВ.3.1.	«Квантовая механика и статистическая физика в микроэлектронике»
2.2 Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее	
Б1.Б.17	«Нанoeлектроника»
Б1.В.ОД.12	«Функциональная электроника»

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

ОПК-1	способностью представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики
ОПК-2	способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат
ОПК-5	способностью использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных

В результате освоения дисциплины обучающийся должен

3.1	Знать:
3.1.1	структуру зон полупроводников, влияние положения уровня Ферми на статистику электронов (ОПК-1)
3.1.2	методы составления и решения уравнений электронейтральности; (ОПК-2)
3.1.3	влияние механизмов рассеивания на температурную зависимость подвижности носителей зарядов; (ОПК-1)
3.1.4	механизмы пробоя полупроводников и эффект Ганна, эффект Холла и сопутствующие ему явления; (ОПК-1)
3.1.5	механизм поглощения света, фотолюминесценцию и фотопроводимость; (ОПК-1)
3.1.6	физическую природу образования выпрямляющих и оптических контактов, характер прямых и обратных токов в разных видах контактов и гетеропереходах. (ОПК-1, ОПК-5)
3.2	Уметь:
3.2.1	правильно выбрать вид статистики электронов в зависимости от положения уровня Ферми (ОПК-1)
3.2.2	решать уравнения электронейтральности, определять энергию примесных уровней и ширину запрещенной зоны из температурных зависимостей концентрации электронов (ОПК-2)
3.2.3	определять критерии сильных электрических полей, рассчитывать частоты диодов Ганна из параметров приборной структуры; (ОПК-2)
3.2.4	определять ширину запрещенной зоны и энергию ионизации примесных уровней из спектров поглощения, люминесценции и фотопроводимости; (ОПК-2)
3.2.5	строить зонные диаграммы барьеров Шоттки, p-n переходов и гетеропереходов. (ОПК-5)
3.3	Владеть:
3.3.1	методами расчета равновесной концентрации электронов в полупроводниках, способами определения энергии активации примесей и ширины запрещенной зоны из температурных зависимостей концентрации, из спектров оптического поглощения, из спектров фотолюминесценции и фотопроводимости; (ОПК-5)
3.3.2	экспериментальными методами определения времени жизни неравновесных носителей зарядов; (ОПК-5)
3.3.3	измерениями вольт-амперных характеристик барьерных структур. (ОПК-5)

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Вид учебной нагрузки и их трудоемкость в часах				
				Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	СРС	Всего часов
1	Зонная структура твердых тел	6	1-3	4	4	-	6	14
2	Статистика электронов в полупроводниках	6	4-9	6	4	-	12	22

3	Физические свойства поверхности полупроводника	6	10-13	4	4	-	8	16
4	Контактные явления в полупроводниках	6	14-18	4	6	-	10	20
Итого				18	18	-	36	72

4.1 Лекции

Неделя семестра	Тема и содержание лекции	Объем часов
1. Зонная структура твердых тел		4
1	Введение. Уравнение Шредингера для кристалла. Приближенные решения уравнения. Одноэлектронное приближение. Приближение сильной связи.	2
3	Решение уравнения Шредингера в приближении слабой связи. Зона Бриллюэна. Эффективная масса электрона в кристалле. Зонная структура реальных полупроводников.	2
2. Статистика электронов в полупроводниках		6
5	Распределение Ферми-Дирака. Концентрация электронов в зоне проводимости. Физический смысл энергии Ферми.	2
7	Концентрация электронов на примесных уровнях. Уравнение электронейтральности. Определение положения уровня Ферми.	2
9	Примеры решения уравнения электронейтральности. Собственный и примесный полупроводники. Температурная зависимость концентрации носителей зарядов, определение энергии активации.	2
3. Физические свойства поверхности полупроводника		4
11	Поверхностные состояния и поверхностный потенциал. Решение уравнения Пуассона. Дебаевская длина экранирования. Поверхностная проводимость.	2
13	Эффект поля. Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Вольт-фарадная характеристика МДП-структуры и ее связь с параметрами поверхности	2
4. Контактные явления в полупроводниках		4
15	Работа выхода электронов и полупроводника и металла. Контакт полупроводника с металлом и его вольт-амперная характеристика.	2
17	Контакт полупроводников n- и p- типа проводимости. Вольт-амперная характеристика p-n перехода. Гетеропереходы и их типы. Заключение.	2
Итого		18

4.2 Лабораторные работы

Неделя семестра	Наименование лабораторной работы	Объем часов	Виды контроля
1. Зонная структура		4	
2	Определение ширины запрещенной зоны полупроводников	4	Отчет
2. Статистика электронов в полупроводниках		4	
6	Температурная зависимость электропроводности полупроводников и металлов	4	Отчет
3. Физические свойства поверхности полупроводника		4	
12	Вольт-амперная характеристика МДП-структуры	4	Отчет

4. Контактные явления в полупроводниках		6	
16	Вольт-амперная характеристика контакта металл-полупроводник	4	Отчет
18	Зачетное занятие	2	Отчет
Итого		18	

4.3 Самостоятельная работа студента (СРС)

Неделя семестра	Тема и содержание лекции	Виды контроля	Объем часов
1. Зонная структура твердых тел			6
1	Принципы построения уравнения Шредингера	Отчет	2
2	Теория возмущений в квантовой механике	Отчет	2
3	Анизотропия эффективной массы электрона в кристалле	Отчет	2
2. Статистика электронов в полупроводниках			12
4	Статистическое описание поведения электронов	Отчет	2
5	Эффективная масса плотности состояний	Отчет	2
6	Статистика электронов на примесных уровнях	Отчет	2
7	Физический смысл статистического состояния	Отчет	2
8	Уравнения электронейтральности для разных случаев легирования	Отчет	2
9	Определение энергетического спектра электронов из зависимости их концентрации от температуры	Отчет	2
3. Физические свойства поверхности полупроводника			8
10	Влияние природы адсорбированных молекул на характер искривленных зон	Отчет	2
11	Зависимость дебаевской длины экранирования от концентрации носителей заряда	Отчет	2
12	Структура полупроводников для наблюдения эффекта поля	Отчет	2
13	Определение параметров полупроводников из вида вольт-емкостных характеристик	Отчет	2
4. Контактные явления в полупроводниках			10
14	Истинная и термодинамическая работа выхода в полупроводниках разных типов проводимостей	Отчет	2
15	Требования к металлам для барьеров Шоттки	Отчет	2
16	Зависимость ВАХ барьера Шоттки от температуры	Отчет	2
17	Зависимость ВАХ p-n перехода от температуры	Отчет	2
18	Изотипные и анизотипные гетеропереходы	Отчет	2
Итого			36

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

	В рамках изучения дисциплины предусмотрены следующие образовательные технологии:
5.1	Лекции: использование демонстраций опытов и экспериментов, активное применение мультимедийных средств, видеофрагментов, электронных презентаций, лекции-визуализации, проблемные лекции.

5.2	Лабораторные работы: проводятся реальные физические эксперименты с использованием лабораторного оборудования, оценивается точность и погрешность измерений, анализируется физический смысл полученных результатов. В ряде случаев проводятся исследования физических явлений с использованием компьютерного моделирования.
5.3	Самостоятельная работа студентов: усвоение материала, подготовка к практическим и лабораторным занятиям, выполнение индивидуальных расчетных заданий, работу с учебниками, иной учебной и учебно-методической литературой, подготовку к текущему контролю успеваемости. Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется регулярно путем опросов, защиты лабораторных работ, проверки выполнения домашних заданий, проведения физических диктантов, тестирования по отдельным темам дисциплины, коллоквиумов.
5.4	консультации по всем вопросам учебной программы, НИРС, написания тезисов, статей, докладов на конференции, рефератов.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

6.1	Контрольные вопросы по общему курсу дисциплины для итоговой проверки
6.2	Контрольные задания для зачета по лабораторным работам
6.3	Сборник задач и вопросов для самопроверки для проведения контрольных работ и итоговой аттестации
6.4	Контрольно-измерительные материалы для зачета по курсу дисциплины

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

7.1 Рекомендуемая литература				
№ п/п	Авторы, составители	Заглавие	Годы издания. Вид издания	Обеспеченность
7.1.1. Основная литература				
7.1.1.1	Рембеза С.И.	Физика твердого тела: учеб. пособие. Ч.1/С.И. Рембеза. - Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет"	2007, печат.	1,52
7.1.1.2	Рембеза С.И.	Физика твердого тела : учеб. пособие. Ч.2 / С. И. Рембеза. - Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет"	2007, печат.	1,52
7.1.1.3	Павлов П.В., Хохлов А. Ф.	Физика твердого тела: Учеб. пособие / П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. - 3-е изд., стереотип. - М.: Высш. шк.	2000, печат.	0,26
7.1.1.4	Шалимова К.В.	Физика полупроводников, Учеб. изд-ие / К.В. Шалимова. – Санкт-Петербург. «Лань».	2014	

7.1.2. Дополнительная литература				
7.1.2.1	Шретер Ю.Г., Ребане Ю.Т., Зыков В.А., Сидоров В.Г.	Широкозонные полупроводники: Учеб. пособие / Ю.Г. Шретер [и др.]. - СПб. : Наука	2001	0,24
7.1.2.2	Под ред. К.А. Джексона, В. Шретера	Энциклопедия технологии полупроводниковых материалов : Пер. с англ. Э.П. Домашевский. Т.1 : Электронная структура и свойства полупроводников / Под ред. К.А. Джексона, В. Шретера. - Воронеж : Изд-во "Водолей"	2004	0,86
7.1.3 Методические разработки				
7.1.3.1	Новокрещенова Е.П.	Методические указания к выполнению лабораторных работ № 1-3 по дисциплине "Физика твердого тела" для студентов специальности 210104 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" очной формы обучения / Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", (рег. номер 477-2010)	2010	1,05
7.1.3.2	Новокрещенова Е.П.	Методические указания № 478-2010 к выполнению лабораторных работ № 4-7 по дисциплине "Физика твердого тела" для студентов специальности 210104 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" очной формы обучения / Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет, (рег. номер 478-2010).	2010	1
7.1.3.3	Новокрещенова Е.П.	Методические указания к выполнению практических заданий по дисциплине "Физика конденсированного состояния" для студентов направления 210100.62 "Электроника и наноэлектроника" (профиля "Микроэлектроника и твердотельная электроника") очной формы обучения. Ч.1 / Воронеж: ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", (рег. номер 229-2012).	2012	
7.1.3.4	Новокрещенова Е.П.	Методические указания к выполнению практических заданий по дисциплине "Физика конденсированного состояния" для студентов направления 210100.62 "Электроника и наноэлектроника" (профиля "Микроэлектроника и твердотельная электроника") очной формы обучения. Ч.2 / Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", (рег. номер 230-2012).	2012	

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

8.1	Учебные лаборатории: физика твердого тела
8.2	Дисплейный класс , оснащенный компьютерными программами для проведения лабораторного практикума
8.3	Специализированная лекционная аудитория , оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой

**Карта обеспеченности рекомендуемой литературой
по дисциплине «Физика полупроводников»**

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие	Год издания. Вид издания.	Обеспеченность
1. Основная литература				
1.1	Рембеза С.И.	Физика твердого тела: учеб. пособие. Ч.1 / С.И. Рембеза. - Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет"	2007, печат.	1,0
1.2	Рембеза С.И.	Физика твердого тела : учеб. пособие. Ч.2 / С. И. Рембеза. - Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет"	2007, печат.	1,0
1.3	Павлов П.В., Хохлов А. Ф.	Физика твердого тела: Учеб. пособие / П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. - 3-е изд., стереотип. - М.: Высш. шк.	2000, печат.	0,26
1.4	Шалимова К.В.	Физика полупроводников, Учеб. изд-ие / К.В. Шалимова. – Санкт-Петербург. «Лань».	2014	1,0
2. Дополнительная литература				
2.1	Шретер Ю.Г., Ребане Ю.Т., Зыков В.А., Сидоров В.Г.	Широкозонные полупроводники: Учеб. пособие / Ю.Г. Шретер [и др.]. - СПб. : Наука	2001	0,24
2.2	Под ред. К.А. Джексона, В. Шретера	Энциклопедия технологии полупроводниковых материалов : Пер. с англ. Э.П. Домашевский. Т.1 : Электронная структура и свойства полупроводников / Под ред. К.А. Джексона, В. Шретера. - Воронеж : Изд-во "Водолей"	2004	0,86
3. Методические разработки				
3.1	Новокрещенова Е.П.	Методические указания к выполнению лабораторных работ № 1-3 по дисциплине "Физика твердого тела" для студентов специальности 210104 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" очной формы обучения / Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", (рег. номер 477-2010)	2010	1,0
3.2	Новокрещенова Е.П.	478-2010 Методические указания к выполнению лабораторных работ № 4-7 по дисциплине "Физика твердого тела" для студентов специальности 210104 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" очной формы обучения / Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", (рег. номер 478-2010).	2010	1,0
3.3	Новокрещенова Е.П.	Методические указания к выполнению практических заданий по дисциплине "Физика конденсированного состояния" для	2012	1,0

		студентов направления 210100.62 "Электроника и наноэлектроника" (профиля "Микроэлектроника и твердотельная электроника") очной формы обучения. Ч.1 / Воронеж: ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", (рег. номер 229-2012).		
3.4	Новокрещенова Е.П.	Методические указания к выполнению практических заданий по дисциплине "Физика конденсированного состояния" для студентов направления 210100.62 "Электроника и наноэлектроника" (профиля "Микроэлектроника и твердотельная электроника") очной формы обучения. Ч.2 / Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", (рег. номер 230-2012).	2012	1,0

Зав. кафедрой _____ С.И. Рембеза

Директор НТБ _____ Т.И. Буковшина

«УТВЕРЖДАЮ»
Председатель Ученого совета факультета радиотехники и электроники

_____ Небольсин В.А.
(подпись)

_____ 201__ г.

Лист регистрации изменений (дополнений) УМКД

Физика полупроводников

В УМКД вносятся следующие изменения (дополнения):

Изменения (дополнения) в УМКД обсуждены на заседании кафедры полупроводниковой электроники и нанoeлектроники

Протокол № _____ от «___» _____ 20__ г.

Зав. кафедрой ППЭНЭ

С.И. Рембеза

Изменения (дополнения) рассмотрены и одобрены методической комиссией ФРТЭ

Председатель методической комиссии ФРТЭ

А.Г. Москаленко

«Согласовано»

С.И. Рембеза

Лист регистрации изменений

Порядковый номер изменения	Раздел, пункт	Вид изменения (заменить, аннулировать, добавить)	Номер и дата приказа об изменении	Фамилия и инициалы, подпись лица, внесшего изменение	Дата внесения изменения