

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

«УТВЕРЖДАЮ»
Председатель Ученого совета факультета
радиотехники и электроники

проф. Небольсин В.А. _____
(подпись)
_____ 2014 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

Физика полупроводников и полупроводниковых приборов
(наименование дисциплины по учебному плану ООП)

для направления подготовки (специальности):

11.06.01. Электроника, радиотехника и системы связи
(код, наименование)

Профиль подготовки (специализация): **05.27.01 Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах**
(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 « _____ » _____ 2014 г.

Председатель методической комиссии _____
(Ф.И.О)

Воронеж 2014 г.
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВПО «ВГТУ», ВГТУ)

«УТВЕРЖДАЮ»
Председатель Ученого совета факультета
радиотехники и электроники

проф. Небольсин В.А. _____
(подпись)
_____ 2014 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Физика полупроводников и полупроводниковых приборов (наименование дисциплины (модуля) по УП)

Закреплена за кафедрой: полупроводниковой электроники и нанoeлектроники

Направление подготовки (специальности):

11.06.01. Электроника, радиотехника и системы связи
(код, наименование)

Профиль: 05.27.01 Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах
(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 интерактивные формы (ИФ) обучения по УП: 18

Часов на интерактивные формы (ИФ) обучения по РПД: 18

Часов на самостоятельную работу по УП: 54 (75%);

Часов на самостоятельную работу по РПД: 54 (75%)

Общая трудоемкость в ЗЕТ: 2;

Виды контроля в семестрах (на курсах): Экзамены - 0; Зачеты - 2; Курсовые проекты - 0;
Курсовые работы - 0.

Форма обучения: очная;

Срок обучения: нормативный.

Распределение часов дисциплины по семестрам

Вид занятий	№ курса									
	1		2		3		4		Итого	
	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД
Лекции			36	36					36	36
Лабораторные			-	-					-	-
Практические			36	36					36	36
Ауд. занятия			72	72					72	72
Сам. работа			72	72					72	72
Итого			144	144					144	144

Сведения о ФГОС, в соответствии с которым разработана рабочая программа дисциплины по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи утвержден приказом Министерства образования Российской Федерации от 30 июля 2014 г. № 876.

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

Рецензент (ы): _____

Рабочая программа дисциплины составлена на основании учебного плана подготовки аспирантов **05.27.01 Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах**

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры полупроводниковой электроники и нанoeлектроники

протокол № _____ от _____ 2014 г.

Зав. кафедрой ППЭНЭ _____ С.И. Рембеза

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1	Цель изучения дисциплины - формирование у аспирантов научных основ для осознанного и целенаправленного использования физических свойств полупроводников при создании элементов, приборов и устройств микро и нанoeлектроники.
1.2	Для достижения цели ставятся задачи:
1.2.1	расширение научного кругозора и эрудиции аспирантов на базе изучения фундаментальных закономерностей физики полупроводников и освоение способов практического использования свойств полупроводниковых материалов;
1.2.2	развитие понимания связи физических свойств полупроводников с параметрами изделий микроэлектроники, использующих различные полупроводниковые материалы;
1.2.3	практическое овладение навыками физического эксперимента и основными методиками по изучению свойств полупроводников и приборную структуру на их основе;
1.2.4	создание основы для изучения вопросов физики полупроводниковых приборов, включая элементы и приборы твердотельной электроники и технологии микро- и нанoeлектроники.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО

Цикл (раздел) ООП: Б1.В		код дисциплины в УП: Б1.В.ОД.1
2.1 Требования к предварительной подготовке обучающегося		
Для успешного освоения дисциплины аспирант должен иметь базовую подготовку по дисциплинам:		
Б2.Б.1	«Математика»	
Б2.Б.2	«Физика»	
Б2.Б.3	«Химия»	
Б2.В.ДВ.2.1	«Квантовая механика и статистическая физика в микроэлектронике»	
2.2 Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее		
Б3.Б.7	Физика конденсированного состояния	
Б3.Б.8	Физические основы электротехники	

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

УК-1	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях
УК-2	способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки

УК-3	готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач
УК-4	готовность современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках
УК-5	способность следовать этическим нормам в профессиональной деятельности
УК-6	способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития
ОПК-1	владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-2	владение культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий
ОПК-3	способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности
ОПК-4	готовность организовывать работу исследовательского коллектива в профессиональной деятельности
ОПК-5	готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования

В результате освоения дисциплины обучающийся должен

3.1	Знать:
3.1.1	основы зонной теории полупроводников (УК-1);
3.1.2	механизм электропроводности и решения уравнений непрерывности (ОПК-1);
3.1.3	физические свойства р-п переходов и гетероструктур (ОПК-1, ОПК-2);
3.1.4	оптические и фотоэлектрические свойства полупроводников (ОПК-1, ОПК-3);
3.2	Уметь:
3.2.1	решать задачи, связанные со статистикой электронов в полупроводниках (ОПК-1);
3.2.2	рассчитывать положения уровня Ферми и величину электропроводности полупроводников (ОПК-1, ОПК-2);
3.2.3	решать уравнения Пуассона при разных начальных и граничных условиях (ОПК-1, ОПК-2);
3.2.4	определять параметры полупроводников из их оптических спектров (ОПК-1, ОПК-2);
3.2.5	рассчитывать ВАХ р-п переходов и гетероструктур (ОПК-1, ОПК-2);
3.3	Владеть:
3.3.1	методами расчетов параметров полупроводников с использованием стандартных и адаптированных программ (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3);
3.3.2	методами выбора полупроводниковых материалов для изготовления полупроводниковых приборов различного назначения (ОПК-3).

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Курс	Неделя семестра	Вид учебной нагрузки и их трудоемкость в часах				
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС	Всего часов
1	Зонная структура твердых тел			4	4	-	8	16
2	Статистика электронов в полупроводниках			4	4	-	8	16
3	Электропроводность в полупроводниках. Уравнение электронейтральности			4	4	-	8	16
4	Уравнение непрерывности. Уравнение Пуассона.			4	4	-	8	16
5	Электронно-дырочный переход, и его ВАХ			4	4	-	8	16
6	Биполярные транзисторы			4	4	-	8	16
7	Структура Металл-Диэлектрик-Полупроводник и приборы на ее основе			4	4	-	8	16
8	Гетероструктуры и приборы на ее основе			4	4	-	8	16
9	Фотоэлектрические и оптические явления в полупроводниках			4	4	-	8	16
Итого				36	36		72	144

4.1 Лекции

Неделя семестра	Темы и содержание лекции	Объем часов	В том числе, в интерактивной форме (ИФ)
1.Зонная структура твердых тел		4	
	Природа химической связи и структуры кристаллов. Дефекты в кристаллах. Свойства основных материалов микроэлектроники и твердотельной электроники.	2	
	Уравнение Шредингера для кристалла. Приближение метода решения уравнения Шредингера. Приближение сильной и слабой связи.	2	
2.Статистика электронов в полупроводниках		4	
	Функции распределения Ферми-Дирака. Концентрация электронов в зоне проводимости. Физический смысл энергии Ферми.	2	
	Влияние положения уровня на статистику электронов в полупроводнике. Концентрация электронов на примесных уровнях.	2	

3.Уравнение непрерывности. Уравнение Пуассона		4	
	Механизмы рассеивания носителей зарядов. Подвижность электронов и дырок. Явление в сильных электрических полях. Эффект Ганна.	2	
	Уравнение электронейтральности и частные случаи его решения. Температурная зависимость энергии Ферми.	2	
4.Уравнение непрерывности. Уравнение Пуассона		4	
	Диффузия и ____ носителей заряда. Уравнение непрерывности. Соотношение Эйнштейна.	2	
	Уравнение Пуассона и частные случаи его решения.	2	
5.Электронно-дырочный переход, и его ВАХ.		4	
	Зонная структура p - n перехода. Квазиуровни Ферми. Инжекция и экстракция носителей зарядов.	2	
	Вольт-амперные характеристики p - n перехода. Частотные и импульсные свойства. Пробой p - n перехода.	2	
6.Биполярные транзисторы		4	
	Зонная диаграмма биполярного транзистора. Схемы включения, коэффициент усиления транзистора.	2	
	Статические и динамические характеристики транзисторов.	2	
7.Структура Металл-Диэлектрик-Полупроводник и приборы на ее основе		4	
	Зонная диаграмма структур. Вольт-фарадные характеристики структуры и их физические схемы.	2	
	Приборы на основе МДП структур. Полевые транзисторы с встроенным и индуцированным каналом.	2	
8.Гетероструктуры и приборы на ее основе		4	
	Зонная диаграмма изотипных и анизотипных гетероструктур. Выбор материалов для гетеропереходов.	2	
	Сверхрешетки и приборы на их основе	2	
9.Фотоэлектрические и оптические явления в полупроводниках		4	
	Механизмы поглощения света в полупроводниках. Фотопроводимость. Время жизни неравновесных носителей.	2	
	Фотолюминесценция. Фотовольтаический эффект в p - n переходах	2	

4.2 Практические занятия

Неделя семестра	Наименование практического занятия	Объем часов	В том числе в интерактивной форме (ИФ)	Виды контроля
	1.Зонная структура твердых тел	4		
	Построение первых трех зон Бриллюэна для плоских решеток с разными значениями a и b ($a = b$, $a = 2b$ и т.п.) Построение зон Бриллюэна для трехмерных решеток (ГЦК, ОЦК, ГПУ и др.).	4		
	2.Статистика электронов в полупроводниках	4		
	Расчеты температурной зависимости концентрации свободных носителей для Ge, Si, GaAs. Расчеты собственной температуры T_i в зависимости от степени легирования Ge, Si, GaAs	4		
	3.Уравнение непрерывности. Уравнение Пуассона	4		
	Расчеты температурных зависимостей в положении уравнения Ферми в примесных полупроводниках Ge, Si, GaAs разной степени легирования. Расчеты температурных зависимостей концентрации электронов в Ge, Si, GaAs разной степени легирования.	4		
	4.Уравнение непрерывности. Уравнение Пуассона	4		
	Решения уравнения Пуассона при различных начальных и граничных условиях (поверхность p - n перехода и т.п.).	4		
	5.Электронно-дырочный переход, и его ВАХ	4		
	Расчеты дебаевской длины экранирования при разных концентрациях в разных полупроводниках. Расчеты барьерных емкостей p - n перехода для резких и плавных переходов в различных полупроводниках. Расчеты ВАХ p - n переходов с различными параметрами.	4		
	6.Биполярные транзисторы	4		
	Моделирование профилей легирования p - n - p и n - p - n транзисторов на основе объемных кристаллов и с эпитаксиальным коллектором. Расчеты коэффициентов усиления по току в транзисторах с разными схемами включения. Ознакомиться с основными моделями параметров транзисторов и сравнить их между собой.	4		
	7.Структура Металл-Диэлектрик-Полупроводник и приборы на ее основе	4		
	Моделирование вольт-фарадных характеристики идеальной МДП структуры с заданными параметрами. Моделирование	4		

	ВАХ МДП-транзистора с заданными параметрами. Расчеты физических параметров МДП-транзистора по реальной ВАХ.			
8. Гетероструктуры и приборы на ее основе		4		
	Построение зонных диаграмм для различных гетеропереходов с использованием Ge, Si, $A^{III}B^V$ и др. полупроводниках. Построение зонной диаграммы для реальной приборной структуры полупроводникового лазера.	4		
9. Фотоэлектрические и оптические явления в полупроводниках		4		
	Подобрать материалы для светодиодов видимого диапазона различного цвета. Расчеты характеристик и параметров солнечных элементов на основе разных полупроводниковых материалов.	4		

4.2. 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 уравнения	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 (ИФ), проблемные лекции (УФ)
5.2	Практические работы: выполнение практических работ.
5.3	Самостоятельная работа аспирантов: усвоение материала, подготовка к практическим занятиям, выполнение индивидуальных расчетных заданий, работу с учебниками, иной учебной и учебно-методической литературой, подготовку к текущему контролю успеваемости. Контроль самостоятельной работы аспирантов осуществляется регулярно путем опросов, 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 выполнения самостоятельных работ
6.3	Сборник задач и вопросов для самопроверки для проведения итоговой аттестации

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				
1	Рембеза С.И.	Физика твердого тела: Учеб. пособие. Ч.1/С.И. Рембеза. – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет»	2007, печат.	1,52
2	Рембеза С.И.	Физика твердого тела: Учеб. пособие. Ч.2/С.И. Рембеза. – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет»	2007, печат.	1,52
3	Павлов П.В., Хохлов А.Ф.	Физика твердого тела: Учебное пособие / П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. –	2000, печат.	0,26

		3-е изд., стереотип. – М.: Высш. шк.		
4	Шалимова К.В.	Физика полупроводников, Учеб. изд-е / К.В. Шалимова. – Санкт-Петербург. «Лань».	2014	
7.1.2 Дополнительная литература				
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	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				
1	Новокрещенова Е.П.	Методические указания к выполнению лабораторных работ № 1-3 по дисциплине «Физика твердого тела» для аспирантов специальности 210104 «Микроэлектроника и твердотельная электроника» очной формы обучения / Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», (рег. номер 477-2010)	2010	1,05
2	Новокрещенова Е.П.	Методические указания к выполнению лабораторных работ № 4-7 по дисциплине «Физика твердого тела» для аспирантов специальности 210104 «Микроэлектроника и твердотельная электроника» очной формы обучения / Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», (рег. номер 478-2010)	2010	1
3	Новокрещенова Е.П.	Методические указания к выполнению практических заданий по дисциплине «Физика конденсированного состояния» для аспирантов 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	
4	Новокрещенова Е.П.	Методические указания к выполнению практических заданий по дис-	2012	1

		циплине «Физика конденсированного состояния» для аспирантов 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)		
7.1.4 Программное обеспечение и интернет ресурсы				

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

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие	Год издания. Вид издания.	Обеспе- ченность
1. Основная литература				
1	Рембеза С.И.	Физика твердого тела: Учеб. пособие. Ч.1/С.И. Рембеза. – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный техниче- ский университет»	2007, печат.	1,52
2	Рембеза С.И.	Физика твердого тела: Учеб. пособие. Ч.2/С.И. Рембеза. – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный техниче- ский университет»	2007, печат.	1,52
2. Дополнительная литература				
1				
3. Методические разработки				
1				1

Зав. кафедрой _____ / _____ /

Директор НТБ _____ / _____ /