

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра конструирования и технологии радиоэлектронных средств

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН РЭФ
д.т.н. Хрусталеv В. А.
“ ____ ” _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Физические основы электроники

Образовательная программа: 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи ,
профиль: Цифровое телерадиовещание

Курс: 2, семестр : 3

Факультет радиотехники и электроники,

		Семестр
№	Вид деятельности	3
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	4
2	Всего часов	144
3	Всего занятий в контактной форме, час.	64
4	Лекции, час.	36
5	Практические занятия, час.	0
6	Лабораторные занятия, час.	18
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	0
8	Аттестация, час.	2
9	Консультации, час.	8
10	Самостоятельная работа, час.	80
11	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ, подготовка к контрольной работе)	РГЗ контр.
12	Вид аттестации	Э

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

ФГОС введен в действие приказом №174 от 06.03.2015 г. , дата утверждения: 27.03.2015 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, вариативная

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

КТРС, протокол заседания кафедры №5 от 20.06.2017

Утверждена на совете факультета радиотехники и электроники, протокол № 6 от 21.06.2017

Программу разработал:

доцент, к.т.н. Дорогой С. В.

Заведующий кафедрой:

доцент, к.т.н. Синельников А. В.

Ответственный за образовательную программу:

декан Хрусталева В. А.

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Компетенция ФГОС: ОПК.2 способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением инфокоммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности; в части следующих результатов обучения:
з4. знать основные свойства полупроводниковых материалов и математический аппарат для их описания
у4. уметь получать математическое описание свойств полупроводниковых материалов
Компетенция ФГОС: ПК.17 способность применять современные теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных средств электросвязи и информатики; в части следующих результатов обучения:
з10. знать теоретические основы и физические принципы построения телекоммуникационных систем

2. Требования НГТУ к результатам освоения дисциплины

Таблица 2.1

Результаты изучения дисциплины по уровням освоения (иметь представление, знать, уметь, владеть)	Формы организации занятий
<i>Физические основы электроники</i>	
ОПК.2.з4 знать основные свойства полупроводниковых материалов и математический аппарат для их описания	
1. физические процессы в контактах Шоттки, р-п переходах	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
2. физические явления переноса в квазистационарных состояниях	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
3. физические явления в полупроводниках	Лекции; Самостоятельная работа
ОПК.2.у4 уметь получать математическое описание свойств полупроводниковых материалов	
4. рассчитывать основные физические и зонные параметры полупроводников	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
5. рассчитывать основные характеристики полупроводниковых приборов	
6. пользоваться экспериментальными результатами из баз данных	
ПК.17.з10 знать теоретические основы и физические принципы построения телекоммуникационных систем	
7. знать теоретические основы и физические принципы построения телекоммуникационных систем	Лабораторные работы

3. Содержание и структура учебной дисциплины

Таблица 3.1

Темы лекций	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения
Семестр: 3			
Дидактическая единица: Строение кристаллов			
1. Элементы симметрии кристаллов. Строение кристаллов полупроводников.	0	2	3, 4
Дидактическая единица: Зонная теория полупроводников			
2. Особенности поведения электронов в твердом теле. Плотность состояний в разрешенных зонах. Функция распределения Ферми- Дирака. Энергия Ферми.	0	2	3

3. Концентрация носителей заряда в зонах. Зонные диаграммы твердых тел ($E(k)$) и упрощенные зонные диаграммы	0	2	3, 4
Дидактическая единица: Параметры полупроводников			
4. Классификация полупроводников. Закон действующих масс. Уравнение электронейтральности. Определение энергии Ферми в полупроводниках.	0	2	3, 4
5. Подвижность носителей заряда. Удельная электропроводность. Диффузия. Законы диффузии.	0	2	2, 3, 4
6. Соотношение Эйнштейна. Диффузионная и дрейфовая плотности тока. Температурная зависимость концентрации носителей заряда.	0	2	2, 4
7. Уравнение непрерывности. Основная система уравнений для расчета параметров полупроводников	0	2	3, 4
Дидактическая единица: Контактные явления			
8. Контактные явления. Термоэлектрические эффекты Зеебека, Пельтье.	0	2	1, 3
9. Контакт Шотки (металл- полупроводник). Выпрямляющий контакт металл- полупроводник. Омический контакт Шотки. ВАХ диода Шотки.	0	2	1
10. Математическая модель идеального р-п перехода (уравнение Шокли).	0	2	1
11. Р-п переход в состоянии термодинамического равновесия. Основные параметры р-п перехода.	0	4	1, 3
12. Полупроводниковый инжекционный лазер. Принцип работы. Инверсная населенность. Полупроводниковый светодиод.	0	2	2
13. ВАХ реального диода, ее зависимость от температуры, концентрации и ширины запрещенной зоны. Генерация и рекомбинация носителей заряда в р-п переходе Пробой р-п перехода.	0	2	2
Дидактическая единица: Транзисторы			
14. Статические параметры БТ. Распределение неосновных носителей заряда в активном режиме. Входные и выходные ВАХ БТ в схеме с ОБ.	0	2	1
15. Полевые транзисторы (ПТ). Эффект поля, образование обогащенного, обедненного и инверсного слоев.	0	4	1
16. МОП конденсатор и его вольт-фарадная характеристика. ПТ с управляющим р-п переходом. ВАХ. Полевой транзистор с изолированным затвором и индуцированным каналом.	0	2	1, 3

Таблица 3.2

Темы лабораторных работ	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 3				
Дидактическая единица: Зонная теория полупроводников				
1. Расчет зонных параметров полупроводников	0	4	4	Расчет температурных зависимостей эффективной плотности состояний, ширины запрещенной зоны.
Дидактическая единица: Параметры полупроводников				

2. Расчет физических параметров полупроводников	0	4	4	Получение аппроксимационных зависимостей для подвижностей электронов и дырок на основе экспериментальных данных.
Дидактическая единица: Контактные явления				
3. Расчет вольтамперной характеристики идеального диода на основе р-п перехода	0	4	1, 2	Расчет и анализ влияния различных факторов на ВАХ идеального перехода
4. Расчет параметров идеального перехода в состоянии термодинамического равновесия	0	6	1, 7	Расчет контактной разности потенциалов, ширины ОПЗ и ее границ, напряженности встроенного электрического поля, барьерной емкости.

4. Самостоятельная работа обучающегося

№	Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 3				
1	Контакт металл-полупроводник	1, 3	2	1
Подготовка к выполнению контрольной работы: Физические основы электроники : учебно-методическое пособие / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой]. - Новосибирск, 2016. - 35, [2] с. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232336				
2	Расчет параметров полупроводника (Si, Ge, GaAs, GaP, InP, GaN, SiC) и идеального диода на основе р-п перехода	3, 4	28	3
Работа с базой данных по полупроводниковым материалам. Расчет и построение зависимостей параметров от температуры и концентрации носителей заряда. Сравнение рассчитанных параметров с литературными данными.: Расчет основных параметров полупроводников : методические указания к выполнению расчетно-графической работы для 2 курса факультета радиотехники и электроники по направлениям "Конструирование и технология электронных средств", "Инфокоммуникационные технологии и системы связи" / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой]. - Новосибирск, 2015. - 27, [2] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000216601 Расчет параметров идеального полупроводникового диода на основе р-п-перехода : методические указания к выполнению расчетно-графической работы для 2 курса РЭФ / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой]. - Новосибирск, 2013. - 34, [1] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000184551				
3	Подготовка к занятиям	1, 2, 3, 4	43	4
Подготовка к защита лабораторных работ и контрольной работе. Подготовка к экзаменам.: Физические основы электроники : учебно-методическое пособие / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой]. - Новосибирск, 2016. - 35, [2] с. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232336				
4	Подготовка к аттестации	3, 4	7	0
Подготовка к аттестации: Расчет основных параметров полупроводников : методические указания к выполнению расчетно-графической работы для 2 курса факультета радиотехники и электроники по направлениям "Конструирование и технология электронных средств", "Инфокоммуникационные технологии и системы связи" / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой]. - Новосибирск, 2015. - 27, [2] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000216601 Расчет параметров идеального полупроводникового диода на основе р-п-перехода : методические указания к выполнению расчетно-графической работы для 2 курса РЭФ / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой]. - Новосибирск, 2013. - 34, [1] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000184551 Физические основы электроники : учебно-методическое пособие / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой]. - Новосибирск, 2016. - 35, [2] с. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232336				

5. Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Деятельность	Информационно-коммуникационные технологии
Информирование	Личный типовой сайт
Консультирование	e-mail:dorogoj@corp.nstu.ru
Контроль	e-mail:dorogoj@corp.nstu.ru
Размещение учебных материалов	Портал НГТУ

6. Правила аттестации обучающихся по учебной дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS. Краткая информация о БРС приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Оцениваемые виды деятельности обучающихся	Мин. балл	Максимальный балл
Семестр: 3		
<i>Лекция:</i>	5	10
<i>Лабораторная:</i>	10	20
Контролирующие материалы - список вопросов		
<i>Практические занятия:</i>	0	
<i>Контрольные работы:</i>	5	10
Контролирующие материалы - список вопросов		
<i>РГЗ:</i>	10	20
<i>Экзамен:</i>	20	40
Контролирующие материалы - список вопросов		

В таблице 6.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 6.2

Коды компетенций ФГОС	Результаты обучения	Формы контроля				
		Защита ЛР	Контр. раб.	Защита РГЗ	Экзамен	Прочее
ОПК.2	з4. знать основные свойства полупроводниковых материалов и математический аппарат для их описания	+	+	+	+	
	у4. уметь получать математическое описание свойств полупроводниковых материалов	+			+	
ПК.17	з10. знать теоретические основы и физические принципы построения телекоммуникационных систем					+

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении № 1 к рабочей программе.

7. Литература

Основная литература

1. Петров К. С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника : учебное пособие для вузов / К. С. Петров. - СПб. [и др.], 2006. - 521 с. : ил.
2. Гуртов В. А. Физика твердого тела для инженеров : учебное пособие / В. А. Гуртов, Р. Н. Осауленко ; науч. ред. Л. А. Алешина. - Москва, 2012. - 558, [1] с. : ил., табл.
3. Гуртов В. А. Твердотельная электроника : учебное пособие [для вузов по направлению подготовки бакалавров, магистров 010700 "Физика" и специальности 010701 "Физика"] / В. Гуртов. - М., 2007. - 406, [1] с. : ил.
4. ЭБС IPRbooks [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система. - [Россия], 2010. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/>. - Загл. с экрана.

Дополнительная литература

1. ЭБС IPRbooks [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система. - [Россия], 2010. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/>. - Загл. с экрана.

Интернет-ресурсы

1. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
2. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>
4. ЭБС "Znanium.com" : <http://znanium.com/>
5. :

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

1. Физические основы электроники : учебно-методическое пособие / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой]. - Новосибирск, 2016. - 35, [2] с. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000232336
2. Расчет параметров идеального полупроводникового диода на основе р-п-перехода : методические указания к выполнению расчетно-графической работы для 2 курса РЭФ / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой]. - Новосибирск, 2013. - 34, [1] с. : ил., табл. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000184551
3. Расчет основных параметров полупроводников : методические указания к выполнению расчетно-графической работы для 2 курса факультета радиотехники и электроники по направлениям "Конструирование и технология электронных средств", "Инфокоммуникационные технологии и системы связи" / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. С. В. Дорогой]. - Новосибирск, 2015. - 27, [2] с. : ил., табл. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000216601

8.2 Специализированное программное обеспечение

- 1 Microsoft Office
- 2 Microsoft Windows

9. Материально-техническое обеспечение

Презентационное оборудование

№	Наименование	Назначение
1	Презентационное оборудование (мультимедиа-проектор, экран, компьютер для управления)	Терминальный класс

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра конструирования и технологии радиоэлектронных средств

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН РЭФ
д.т.н., профессор В.А. Хрусталев
“ ____ ” _____ ____ г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Физические основы электроники

Образовательная программа: 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи,
профиль: Цифровое телерадиовещание

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины «Физические основы электроники» приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Темы	Этапы оценки компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (РГЗ(Р) и др.)	Промежуточная аттестация (экзамен)
ОПК.2 способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением инфокоммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	34. знать основные свойства полупроводниковых материалов и математический аппарат для их описания	Математическая модель идеального р-п перехода (уравнение Шокли). Р-п переход в состоянии термодинамического равновесия. Основные параметры р-п перехода. ВАХ реального диода, ее зависимость от температуры, концентрации и ширины запрещенной зоны. Генерация и рекомбинация носителей заряда в р-п переходе. Пробой р-п перехода. Классификация полупроводников. Закон действующих масс. Уравнение электронейтральности. Определение энергии Ферми в полупроводниках. Контакт Шотки (металл - полупроводник). Выпрямляющий контакт металл - полупроводник. Омический контакт Шотки. ВАХ диода Шотки. Контактные явления. Термоэлектрические эффекты Зеебека, Пельтье. Концентрация носителей заряда в зонах. Зонные диаграммы твердых тел ($E(k)$) и упрощенные зонные диаграммы. МОП конденсатор и его вольт-фарадная характеристика. ПТ с управляющим р-п переходом, ВАХ. Полевой транзистор с изолированным затвором и индуцированным каналом. Особенности поведения электронов в твердом теле. Плотность состояний в разрешенных зонах. Функция распределения Ферми- Дирака. Энергия Ферми. Подвижность носителей заряда. Удельная электропроводность. Диффузия. Законы диффузии. Полупроводниковый инжекционный лазер. Принцип работы. Инверсная населенность.	Контрольная работа. Отчет по лабораторной работе №1, РГЗ, разделы 1.1-1.7.	Экзамен, вопросы 1-21

		Полупроводниковый светодиод. Расчет вольтамперной характеристики идеального диода на основе р-п перехода. Расчет параметров идеального перехода в состоянии термодинамического равновесия. Соотношение Эйнштейна. Диффузионная и дрейфовая плотности тока. Температурная зависимость концентрации носителей заряда. Основная система уравнений для расчета параметров полупроводников.		
ОПК.2	у4. уметь получать математическое описание свойств полупроводниковых материалов	Классификация полупроводников. Закон действующих масс. Уравнение электронейтральности. Определение энергии Ферми в полупроводниках. Концентрация носителей заряда в зонах. Зонные диаграммы твердых тел ($E(k)$) и упрощенные зонные диаграммы. Подвижность носителей заряда. Удельная электропроводность. Диффузия. Законы диффузии. Расчет зонных параметров полупроводников. Расчет физических параметров полупроводников. Соотношение Эйнштейна. Диффузионная и дрейфовая плотности тока. Температурная зависимость концентрации носителей заряда. Уравнение непрерывности. Основная система уравнений для расчета параметров полупроводников	Отчет по лабораторной работе № 2, РГЗ разделы 2.1-2.11	Экзамен, вопросы 22-37
ПК.17/ЭИ способность применять современные теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных средств электросвязи и информатики	з10. знать теоретические основы и физические принципы построения телекоммуникационных систем	Расчет параметров идеального перехода в состоянии термодинамического равновесия	Отчет по лабораторной работе №2, РГЗ разделы 1-2.	Экзамен, вопросы 19-21

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 3 семестре - в форме письменного экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ОПК.2.

Кроме того, сформированность компетенции проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 3 семестре обязательным этапом текущей аттестации являются расчетно-графическое задание

(работа) (РГЗ(Р)), контрольная работа. Требования к выполнению РГЗ(Р), контрольной работы, состав и правила оценки сформулированы в паспорте РГЗ(Р), контрольной работы.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе учебной дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенции ОПК.2, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

Общая характеристика уровней освоения компетенций.

Ниже порогового. Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

Пороговый. Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

Базовый. Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

Продвинутый. Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

Паспорт экзамена

по дисциплине «Физические основы электроники», 3 семестр

1. Методика оценки

Экзамен проводится в письменной форме, по билетам. Билет содержит два вопроса. В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № 7

к экзамену по дисциплине «Физические основы электроники»

1. Удельная электропроводимость полупроводников (σ), температурная зависимость удельной электропроводимости для собственного ($\sigma_i(T)$) и примесного ($\sigma_n(T)$) полупроводников.
2. Полевой транзистор с управляющим р-п переходом и n-каналом. Структура, схема включения, принцип действия.

Утверждаю: зав. кафедрой КТРС, доцент _____ Синельников А.В.

Дата: 20 июня 2017 г.

2. Критерии оценки

- Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным**, если студент не ответил на все вопросы, не дал определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, оценка составляет **2-10 баллов**.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, допускает не принципиальные ошибки, оценка составляет **11-20 баллов**.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, оценка составляет **21-30 баллов**.
- Ответ на экзаменационный билет (тест) билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы, проводит комплексный анализ, понимает суть явлений, способен представить количественные характеристики определенных процессов, приводит конкретные примеры из практики, оценка

составляет **31-40 баллов**.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Физические основы электроники»

1. Закон действующих масс. Генерация и рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках.
2. Функция распределения Ферми-Дирака ($f_D(E)$). Физический смысл энергии Ферми (E_F). Положение уровня Ферми на зонной энергетической диаграмме $E(x)$ в примесных полупроводниках.
3. Диффузия, 1-й закон Фика. Коэффициент диффузии (D) носителей заряда, температурная зависимость $D(T)$. Соотношение Эйнштейна.
4. Механизмы образования носителей заряда в примесных и собственных полупроводниках, температурная зависимость концентрации носителей заряда.
5. Механизмы движения носителей заряда, диффузия и дрейф. Диффузионная (J_{diff}) и дрейфовая (J_{dr}) плотности тока.
6. Рассеяние носителей заряда. Подвижность носителей заряда (μ), зависимость подвижности от физических параметров.
7. Удельная электропроводимость полупроводников (σ), температурная зависимость удельной электропроводимости для собственного ($\sigma_i(T)$), и примесного ($\sigma_n(T)$) полупроводников.
8. Термоэлектрические эффекты Зеебека, Пельтье.
9. Контакт металл–полупроводник (омический), зонная энергетическая диаграмма контакта $E(x)$ в состоянии термодинамического равновесия. Распределение объёмной плотности заряда.
10. Контакт металл–полупроводник (неомический), зонная энергетическая диаграмма контакта $E(x)$ в состоянии термодинамического равновесия. Распределение объёмной плотности заряда.
11. P - n переход в состоянии термодинамического равновесия, зонная энергетическая диаграмма $E(x)$, основные параметры.
12. Распределение концентрации основных ($n_n(x)$, $p_p(x)$) и неосновных ($n_p(x)$, $p_n(x)$) носителей заряда, объёмной плотности заряда ($\rho_q(x)$), напряженности электрического поля ($\varphi(x)$), электростатического потенциала ($\psi(x)$) в идеальном несимметричном p - n переходе в состоянии термодинамического равновесия. (концентрации примесей N_a , N_d заданы).
13. P - n переход при прямом смещении, зонная энергетическая диаграмма $E(x)$, основные параметры.
14. P - n переход при обратном смещении, зонная энергетическая диаграмма $E(x)$, основные параметры.
15. Контактная разность потенциалов (U_0) в p - n переходе. Механизм образования.
16. Область пространственного заряда (ОПЗ) в идеальном p - n переходе. Структура, границы (x_p , x_n), причина образования ОПЗ.
17. Интегральная барьерная ёмкость p - n перехода (C_δ), зависимость от внешних параметров. Причина образования ёмкости.
18. Уравнение Пуассона. Максимальная напряженность электрического поля в p - n переходе (φ_{max}), в состоянии термодинамического равновесия.
19. Вольтамперная характеристика (ВАХ) идеального p - n перехода (уравнение Шокли). Допущения при выводе уравнения Шокли. Влияние физических параметров на ВАХ.

20. Причины отличия ВАХ идеального и реального p - n переходов. Пробой p - n перехода.
21. Ток насыщения (I_0) идеального p - n перехода, физический смысл. Зависимость от параметров.
22. ВАХ туннельного диода, связь с зонной диаграммой $E(x)$. Эффект туннелирования.
23. Светоизлучающие диоды. Структура, принцип работы. Белый светодиод.
24. Солнечный элемент. Структура, принцип работы.
25. Структура и принцип работы полупроводникового лазера. Инверсная населенность.
26. Структура, условия и принцип работы биполярного транзистора. Схемы включения.
27. Усиление сигнала биполярным транзистором в схеме с общей базой.
28. Усиление сигнала биполярным транзистором в схеме с общим эмиттером. Коэффициент усиления.
29. Статические ВАХ биполярного транзистора в схеме с общей базой.
30. Физические процессы в базе биполярного транзистора. Распределение концентрации неосновных носителей заряда в активном режиме (схема с общей базой).
31. Полевой транзистор с управляющим p - n переходом. Структура, схема включения, принцип действия, качественный анализ работы.
32. Процесс перекрытия канала в полевом транзисторе с управляющим p - n переходом.
33. Статические ВАХ полевого транзистора с управляющим p - n переходом.
34. МОП конденсатор, структура, режимы работы: обеднение, обогащение, инверсия.
35. Полевой транзистор с индуцированным каналом. Структура, принцип действия, статические ВАХ.
36. Эффект Холла, определение параметров полупроводников.
37. Основные характеристики биполярного транзистора в схеме с общей базой.

Паспорт контрольной работы

по дисциплине «Физические основы электроники», 3 семестр

1. Методика оценки

Контрольная работа проводится по теме «Контакт металл-полупроводник (контакт Шотки)» и включает 3 задания. Выполняется письменно.

2. Критерии оценки

Каждое задание контрольной работы оценивается в соответствии с приведенными ниже критериями.

Контрольная работа считается **невыполненной**, если не выполнено в полном объеме ни одного задания. Оценка составляет **0-2** балла.

Работа выполнена на **пороговом** уровне, если выполнено только одно задание. Оценка составляет **3-4** балла.

Работа выполнена на **базовом** уровне, если выполнены оба задания с незначительными погрешностями. Оценка составляет **5-7** баллов.

Работа считается выполненной на **продвинутом** уровне, если выполнены оба задания и даны комментарии. Оценка составляет **8-10** баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за контрольную работу учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Пример задания контрольной работы, варианты

1. Нарисовать зонную диаграмму $E(x)$ контакта металл (Ni)- полупроводник (Ge) в состоянии термодинамического равновесия. Указать все известные энергетические параметры, расположение подвижных и неподвижных зарядов.

2. Объяснить причину образования контакта и определить его тип (выпрямляющий или невыпрямляющий).

3. Нарисовать распределение объемной плотности заряда $\rho(x)$ в контакте и указать, типы зарядов, расположенных по разные стороны от металлургической границы.

Допущения:

- Полупроводник невырожденный, уровень Ферми находится в запрещенной зоне вблизи границы соответствующей разрешенной зоны.
- Примеси полностью ионизированы.

Таблица 1. Базовые физические параметры полупроводников (T=300K)

Полупроводник	Si	Ge	GaAs	GaP	GaSb	InSb	InAs	InP
Ширина запрещенной зоны E_g , эВ	1.12	0.661	1.424	2.26	0.726	0.17	0.354	1.344
Сродство к электрону χ , эВ	4.05	4.0	4.07	3.8	4.06	4.59	4.9	4.38

Таблица 2. Работа выхода электронов из металла (T=300 K)

Металл	Al	Ag	Cu	Ni	Cr	W	Au	Pt
Работа выхода, Φ , эВ	4.25	4.3	4.4	4.5	4.58	4.6	4.8	5.3

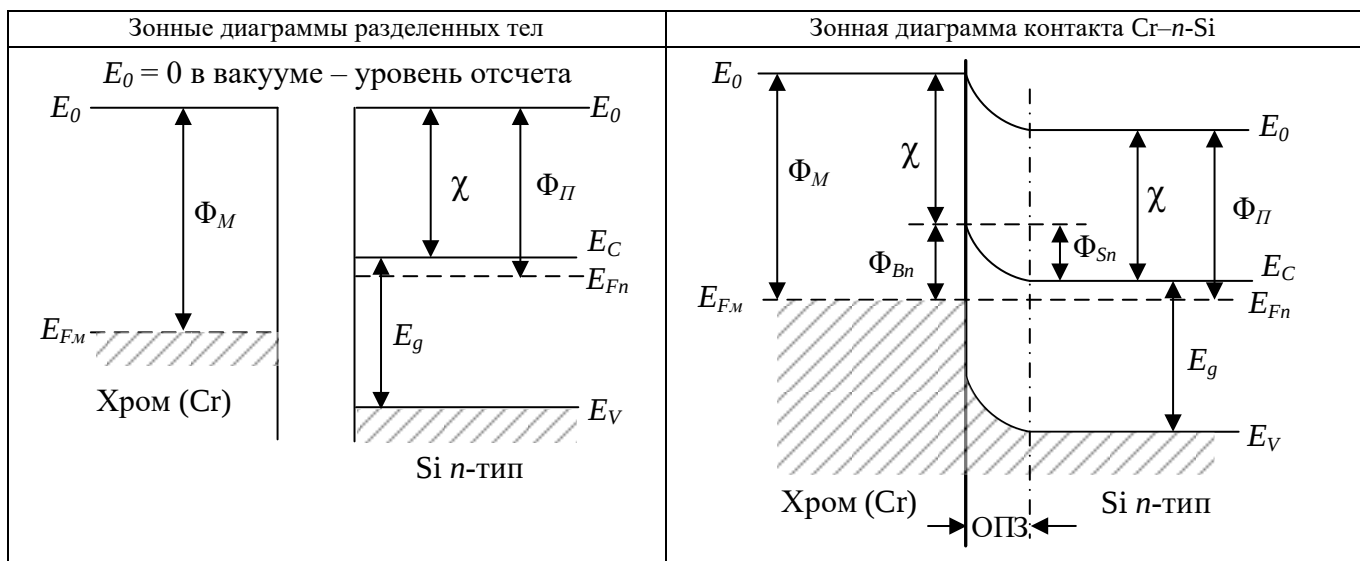
Таблица 3. Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
Контакт Шотки	Al – (p-Si)	Al – (n-InAs)	Cu – (n-GaAs)	Pt – (p-Si)	Cr – (n-GaSb)	W – (p-InSb)	Ni – (n-InAs)	Pt – (p-InP)

Вариант	9	10	11	12	13	14	15	16
Контакт Шотки	Pt – (n-InSb)	Cr – (p-GaSb)	W – (n-GaAs)	Au – (p-Ge)	Cr – (n-GaAs)	Cu – (p-InSb)	Ag – (n-InAs)	Ni – (p-GaP)

Вариант	17	18	19	20	21	22	23	24
Контакт Шотки	Cu – (n-Si)	Ni – (p-Ge)	Al – (n-InP)	W – (p-GaP)	Au – (n-GaSb)	Pt – (p-InSb)	Ag – (n-Ge)	Ag – (p-InP)

5. Пример выполнения задания 1 контрольной работы (выпрямляющий контакт)



Паспорт расчетно-графического задания (работы)

по дисциплине «Физические основы электроники», 3 семестр

1. Методика оценки

В рамках расчетно-графического задания (работы) по дисциплине студенты должны рассчитать основные параметры конкретного полупроводника, например кремния (Si) и на его основе параметры идеального полупроводникового диода.

При выполнении расчетно-графического задания (работы) студенты должны на основе экспериментальных данных получить аппроксимационные зависимости основных параметров от внешних условий, таких как температура, концентрация примесей в полупроводнике, напряжения и др. Работа выполняется в программе Mathcad.

2. Критерии оценки

- Работа считается **не выполненной**, если выполнены не все части РГЗ(Р), отсутствует анализ экспериментальных данных, рассчитанные величины не согласуются с литературными данными по величине или размерности. Работа оформлена без учета требований к оформлению конструкторской документации, шаблоны титульных листов, рамок есть на сервере кафедры КТПС. Отсутствует зонная энергетическая диаграмма р-п перехода, оценка составляет **0-5** баллов.
- Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если части РГЗ(Р) выполнены формально: аппроксимационные выражения не согласуются с исходными экспериментальными данными, отсутствуют зонная энергетическая диаграмма р-п перехода и сводная таблица рассчитанных и литературных данных, оценка составляет **6-9** баллов.
- Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если анализ экспериментальных данных выполнен в полном объеме, основные параметры определены, графики построены, но не подписаны трассы, зонная энергетическая диаграмма р-п перехода не соответствует заданным концентрациям примеси, оценка составляет **10-15** баллов.
- Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если анализ экспериментальных данных выполнен в полном объеме, рассчитанные величины согласуются с литературными данными по величине или размерности. Работа оформлена с учетом требований к оформлению конструкторской документации, зонная энергетическая диаграмма р-п перехода соответствует заданию, оценка составляет **16-20** баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ(Р) учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Пример темы РГЗ(Р)

Тема: «Расчет параметров полупроводника и полупроводникового идеального диода на основе р-п перехода».

Целью работы является расчет основных физических свойств конкретного полупроводника и параметров идеального полупроводникового *р-п* перехода на его основе в диапазоне температур 200-1000 К. Работа выполняется с использованием программы MathCAD. Работа состоит из двух основных частей - расчет основных параметров полупроводника и расчет параметров *р-п* перехода, сформированного из этого полупроводника.

Параметры для расчета

1. Физические параметры конкретного полупроводника

- 1.1. Эффективная масса плотности состояний электронов в зоне проводимости m_{dn} , эффективная масса плотности состояний дырок в валентной зоне m_{dp} (обе величины используются исключительно для расчета $N_C(T)$ и $N_V(T)$). Результат дать в виде: $m_{dn} = \text{const1} \cdot m_e$, $m_{dp} = \text{const2} \cdot m_e$, где m_e - масса электрона, а const1 и const2 – некоторые числа. Допускается расчет из значения $N_C(300 \text{ K})$ и $N_V(300 \text{ K})$;
- 1.2. $N_C(T)$ - температурная зависимость эффективной плотности состояний в зоне проводимости, см^{-3} ;
- 1.3. $N_V(T)$ - температурная зависимость эффективной плотности состояний в валентной зоне, см^{-3} ;
- 1.4. $n_i(T)$ - температурная зависимость собственная концентрация носителей заряда, см^{-3} ;
- 1.5. $E_g(T)$ - температурная зависимость ширины запрещенной зоны, эВ:
 - 1.6. $\mu_n(T, N_d = \text{const})$, $\mu_p(T, N_a = \text{const})$ – температурные зависимости подвижности электронов и дырок (экспериментальные и аппроксимационные), $\text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{сек})$, N_d и N_a - концентрации доноров и акцепторов задаются преподавателем.
- 1.7. $\mu_n(N_d, 300 \text{ K})$ и $\mu_p(N_a, 300 \text{ K})$ - концентрационные зависимости подвижности электронов и дырок, $\text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{сек})$.

2. Физические параметры идеального диода

- 2.1. Контактная разность потенциалов $U_0(T)$, В.
 - 2.2. Ширина области пространственного заряда (W) и ее границы x_n , x_p , мкм.
 - 2.3. Интегральная барьерная емкость p - n перехода $C_\delta(T, U = \text{const})$ и $C_\delta(U, T = \text{const})$, Ф.
 - 2.4. Вольтамперная характеристика перехода и ее температурная зависимость $I(U, T)$, А.
 - 2.5. Ток насыщения, температурная зависимость $I_0(T)$, А.
 - 2.6. Максимальная напряженность электрического поля в переходе $\phi_{\max}$, В/см.
 - 2.7. Коэффициент инжекции p - n перехода γ (γ_p для p^+n перехода и γ_n для n^+p перехода).
 - 2.8. Определить доминирующую составляющую тока насыщения для (электронная или дырочная).
 - 2.9. Определить напряжение, при котором наблюдается высокий уровень инжекции неосновных носителей заряда. ($T=300 \text{ K}$).
 - 2.10. Построить распределение напряженности электрического поля в ОПЗ ($\phi(x)$).
 - 2.11. Построить распределение электрического потенциала в ОПЗ ($\psi(x)$).
3. Построить зонную энергетическую диаграмму ($E(x)$) для идеального p - n перехода при термодинамическом равновесии, при прямом и обратном смещении ($T=300 \text{ K}$) с указанием значений всех рассчитанных параметров (U_0 , $|x_n|$, $|x_p|$, W , $\phi_{\max}$). Отметить положения всех энергетических уровней и типов зарядов. Вариант зонной диаграммы определяется преподавателем.

Пример оформления графиков

