

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет радиотехники и электроники

“УТВЕРЖДАЮ”

Декан РЭФ

профессор, д.т.н. Хрусталева
Владимир Александрович

“ ___ ” _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Физические основы электроники

ООП: специальность 210402.65 Средства связи с подвижными объектами

Шифр по учебному плану: ЕН.Ф.9

Факультет: радиотехники и электроники очная форма обучения

Курс: 2, семестр: 3

Лекции: 36

Практические работы: - Лабораторные работы: 18

Курсовой проект: - Курсовая работа: - РГЗ: 3

Самостоятельная работа: 48

Экзамен: 3 Зачет: -

Всего: 102

Новосибирск

2011

Рабочая программа составлена на основании Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению (специальности): 654400 Телекоммуникации.(№ 20 тех/дс от 10.03.2000)

ЕН.Ф.9, дисциплины федерального компонента

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры конструирования и технологии радиоэлектронных средств протокол № 5 от 04.07.2011

Программу разработал

доцент, к.т.н.

Дорогой Сергей Викторович

Заведующий кафедрой

профессор, д.т.н.

Вострецов Алексей Геннадьевич

Ответственный за основную образовательную программу

профессор, д.т.н.

Спектор Александр Аншелевич

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Шифр дисциплины	Содержание учебной дисциплины	Часы
ЕН.Ф.9	<p>Физические основы электроники:</p> <p>элементы зонной теории твердого тела, кристаллическая решетка, типы связей, дефекты решетки; собственный и примесные полупроводники; зонные диаграммы; генерация и рекомбинация носителей заряда; равновесные концентрации носителей заряда, распределение по энергии, влияние поверхностных состояний; эффект внешнего поля; природа контактной разности потенциалов, работа выхода, зонные диаграммы контактов металл - полупроводник и полупроводник -полупроводник (электронно-дырочный переход); диффузионные и дрейфовые токи в полупроводниках и переходах; математическая модель идеализированного электронно-дырочного перехода; физические явления (туннельный эффект, ударная ионизация и др.), вызывающие отклонения от идеализированной модели; инерционные свойства перехода, барьерная и диффузионная емкости; физические процессы в контактах полупроводников с различной шириной запрещенной зоны (гетеропереходы); особенности квантово - размерных структур; фотоэлектрические явления в полупроводниках и переходах, фотопроводимость и фотогальванический эффект; термоэлектрические явления (эффект Пельтье и Зеебека); гальваномагнитный эффект Холла; термоэлектронная эмиссия, вторичная электронная эмиссия и др; понятие о плазме и электрическом разряде в газе; роль физических основ электроники в развитии полупроводниковых приборов, микроэлектроники, электровакуумных и газоразрядных приборов, электронно-лучевых и индикаторных приборов.</p>	102

2. Особенности (принципы) построения дисциплины

Таблица 2.1

Особенности (принципы) построения дисциплины

Особенность (принцип)	Содержание
<p>Основания для введения дисциплины в учебный план по направлению или специальности</p>	<p>Рабочая программа составлена на основании Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению (специальности) 654400 "Телекоммуникации" (210402.65 "Средства связи с подвижными объектами"). Направление подготовки дипломированного специалиста (квалификация - инженер) утверждено приказом Минобразования РФ № 686 от 02.03.2000 г.</p>

	<p>Регистрационный номер 20 тех/дс от 10. 03. 2000 г</p> <p>Курс "Физические основы электроники" входит в блок обще математических и естественнонаучных дисциплин.</p>
Адресат курса	Студенты дневной формы, обучающиеся по направлению 210402 -"Средства связи с подвижными объектами"
Основная цель (цели) дисциплины	Научить студента выявлять механизм или движущую силу явления, положенного в основу работы приборов электроники.
Ядро дисциплины	Ядро курса составляют физические явления в р-п переходах, на которых базируются приборы современной электроники.
Связи с другими учебными дисциплинами основной образовательной программы	В курсе закрепляются понятия, необходимые для изучения последующих дисциплин.
Требования к первоначальному уровню подготовки обучающихся	Студенту для успешного освоения курса необходимо знать основы квантовой механики, физики твердого тела, математического анализа, а для выполнения расчетно-графических работ - знание программы MathCAD-14 или старшей версии. Также необходимо уметь пользоваться графическими программами и Интернетом.
Особенности организации учебного процесса по дисциплине	<p>Курс учит студентов самостоятельно находить и пользоваться научно-технической информацией, как с помощью бумажных реферативных журналов, так и с помощью электронных каталогов библиотек и интернет - ресурсов.</p> <p>В курсе закрепляются понятия, необходимые для изучения последующих дисциплин.</p> <p>Оценка знаний студента проводится на контрольной работе, проверочных тестах, в процессе защиты расчетно-графической работы и на экзамене.</p> <p>Работа студента в семестре оценивается по балльно-рейтинговой системе.</p>

3. Цели учебной дисциплины

Таблица 3.1

После изучения дисциплины студент будет

иметь представление	
1	о структуре и элементах симметрии кристаллов
2	об особенностях движения электронов в твердом теле
3	о механизме образования обедненного, обогащенного и инверсного слоев в МДП структурах
4	о физических процессах в полупроводниковых гетеропереходах
5	о физических эффектах в полупроводниках, связанных с переносом заряда и энергии (эффекты Зеебека, Пельтье, Холла)
6	о физических процессах в контактах металл - полупроводник
7	о принципах работы жидкокристаллических устройств отображения информации.
знать	
8	элементы зонной теории и энергетические диаграммы $E(k)$ и $E(x)$
9	математическую модель идеального p-n перехода (теорию Шокли)
10	основные вольт - амперные характеристики, характеризующие работу полупроводниковых приборов
11	условия, необходимые для работы конкретных типов полупроводниковых приборов, использующих p-n переход.
12	термины и основные математические формулы, применяемые в курсе
уметь	
13	расчитывать основные параметры полупроводников, строить зависимости от температуры, концентрации примесей.
14	оценивать достоинства и недостатки различных полупроводниковых приборов
15	читать и изображать на языке формул и энергетических диаграмм физические процессы в полупроводниковых структурах.
иметь опыт (владеть)	
16	расчета основных равновесные характеристик p-n перехода (толщину области пространственного заряда, контактную разность потенциалов, ток насыщения, барьерную емкость)

4. Содержание и структура учебной дисциплины

Лекционные занятия

Таблица 4.1

(Модуль), дидактическая единица, тема	Часы	Ссылки на цели
Семестр: 3		
Модуль: Элементы кристаллографии		
Дидактическая единица: Элементы симметрии кристаллов		
Кристаллическая решетка. Ячейки Браве. Элементы	2	1

симметрии. Индексы Миллера. Точечные дефекты кристаллической структуры.		
Модуль: Основы теории полупроводников		
Дидактическая единица: Зонная теория полупроводников		
Элементы зонной теории твердого тела. Эффективная масса электрона. Плотность состояний в разрешенных зонах. Функция распределения Ферми- Дирака. Определение энергии Ферми в полупроводниках. Равновесная концентрация носителей заряда в зонах. Зонные диаграммы твердых тел ($E(k)$) и упрощенные зонные диаграммы ($E(x)$)	2	2, 4
Дидактическая единица: Основные параметры полупроводников		
Классификация полупроводников. Закон действующих масс. Генерация и рекомбинация носителей заряда. Дрейфовая скорость. Подвижность носителей заряда. Удельная электропроводность. Диффузия. Соотношение Эйнштейна. Диффузионные и дрейфовые токи. Температурная зависимость концентрации носителей заряда. Явления переноса в условиях стационарной неоднородности. Термоэлектрические явления (эффект Пельтье и Зеебека). Гальваномагнитный эффект Холла. Фотопроводимость и фото ЭДС. Явления переноса в условиях динамической неравновесности. Уравнение непрерывности.	8	12, 2, 8
Дидактическая единица: Контактные явления		
Контактные явления. Контакт Шотки (металл-полупроводник). Работа выхода Выпрямляющий контакт металл- полупроводник n-типа (p-типа). Омический контакт Шотки. Зонные диаграммы контактов металл- полупроводник, ВАХ.	4	10, 14, 5, 6
Дидактическая единица: Основы теории p-n перехода		
P-n переход в состоянии термодинамического равновесия. Основные параметры p-n перехода. Контактная разность потенциалов. Уравнение Пуассона. Ширина ОПЗ. Барьерная и диффузионная емкости. Математическая модель идеального p-n перехода (уравнение Шокли). Физические явления (туннельный эффект, ударная ионизация и др.), вызывающие отклонения от идеализированной модели. Вольт-амперная характеристика реального диода, ее зависимость от температуры, концентрации и ширины запрещенной зоны. Генерация и рекомбинация носителей заряда в p-n переходе Пробой p-n перехода. Туннельный диод. Светоизлучающие инжекционные диоды (СИД). Полупроводниковый лазер.	8	10, 15, 16, 2, 9

Модуль: Основы физики полупроводниковых приборов		
Дидактическая единица: Биполярные транзисторы		
Биполярный транзистор (БТ), принцип работы, схемы включения, режимы, усиление сигнала в схемах с общей базой, общим эмиттером, общим коллектором. , ВАХ БТ в схеме с общей базой, распределение неосновных носителей заряда в базе. Эффект Эрли.	6	10, 11, 12
Дидактическая единица: Полевые транзисторы		
Полевые транзисторы (ПТ). Влияние поверхностных состояний; эффект внешнего поля, образование обогащенного, обедненного и инверсного слоев. МОП конденсатор и его вольт-фарадная характеристика. ПТ с управляющим р-п переходом. ВАХ. МДП транзистор с индуцированным и встроенным каналами. Элементы памяти на МДП структурах с "плавающим" затвором.	6	11, 12, 14, 15, 3

Лабораторная работа

Таблица 4.2

(Модуль), дидактическая единица, тема	Учебная деятельность	Часы	Ссылки на цели
Семестр: 3			
Модуль: Основы теории полупроводников			
Дидактическая единица: Основные параметры полупроводников			
Расчет основных физических параметров полупроводников	Рассчитывает, строит и анализирует температурные и концентрационные зависимости основных параметров (N_c , N_v , n_i , E_g , n , p , n_p , p_p , D_n , D_p) реальных полупроводников -(Si, Ge, GaAs, GaP, GaSb, InAs, InSb, InP).	8	12, 8
Модуль: Основы физики полупроводниковых приборов			
Дидактическая единица: Полупроводниковые приборы на основе р-п перехода			
Расчет параметров идеального р-п перехода на основе конкретного полупроводника (Si, Ge, GaAs, GaP, GaSb, InAs, InSb, InP)	Определяет основные характеристики идеального р-п перехода по модели Шокли (концентрацию основных и	10	10, 9

	<p>неосновных носителей заряда, ток насыщения, контактную разность потенциалов, ширину и границы ОПЗ, барьерную емкость). Изображает структуру и энергетические диаграммы перехода при внешних смещениях. Сравнивает рассчитанные величины с литературными данными.</p>		
--	---	--	--

5. Самостоятельная работа студентов

Семестр- 3, Контрольные работы

Подготовка к контрольной работе 10 час.

Семестр- 3, РГЗ

Выполнение РГЗ 20 час.

Пример задания на расчетно-графическую работу

Тема: "Расчет параметров идеального полупроводникового диода"

Целью работы является расчет основных параметров идеального полупроводникового диода в диапазоне температур 200-400К. Определение влияния структуры резкого p-n перехода на его параметры. Работа выполняется с использованием программы MathCAD-14 или выше.

Параметры для расчета

1. Физические параметры идеального диода

1.1. Контактная разность потенциалов (U_0) и ее температурная зависимость ($U_0(T)$);

1.2. Высота потенциального барьера ($P(T)$) в состоянии термодинамического равновесия при $T=300K$;

1.3. Ширина области пространственного заряда (W) и ее границы ($|x_n|$, $|x_p|$), $W(T)$;

1.4. Интегральная барьерная емкость p-n перехода (C_b), ее температурная зависимость;

1.5. Вольтамперная характеристика, температурная зависимость $I(U, T)$;

1.6. Ток насыщения, температурная зависимость $I_0(T)$;

1.7. Определить отношение электронной составляющей тока насыщения к дырочной при $T=300 K$.

1.8. Максимальная напряженность встроенного электрического поля перехода в состоянии термодинамического равновесия

1.9. Коэффициент инжекции p-n перехода γ (γ_p для p+n перехода и γ_n для n+p перехода);

1.10. Сравнить характеристики p-n перехода для двух вариантов структур (p+n и n+p);

1.11. Определить напряжение, при котором наблюдается высокий уровень инжекции неосновных носителей заряда. ($T=300 K$).

1.12. Построить распределение напряженности электрического поля в ОПЗ ($E(x)$).

1.13. Построить распределение электрического потенциала в ОПЗ ($\phi(x)$).

2. Построить зонную диаграмму ($E(x)$) для идеального p-n перехода при термодинамическом равновесии, при прямом и/или обратном смещении ($T=300\text{K}$) с указанием всех рассчитанных параметров (U_0 , $|x_n|$, $|x_p|$, W). Учесть конкретные параметры заданного полупроводника.

Семестр- 3, Подготовка к занятиям

Подготовка к занятиям, изучение программы MathCad, анализ литературных источников
18 час.

6. Правила аттестации студентов по учебной дисциплине

Экзамен (семестр 3). Оценка - по рейтинговой системе.

К зачету в 3 семестре допускаются студенты, выполнившие в срок расчетно-графическую работу (РГЗ) и защитившие её, а также имеющие положительные оценки за контрольные работы.

К экзамену в 4 семестре допускаются студенты, выполнившие и защитившие лабораторные работы и РГР, а также имеющие положительные оценки за контрольные работы.

Ниже в таблице 6.1 приведена рейтинговая система оценки работы студента по отдельным видам деятельности.

Таблица 6.1

Вид деятельности	Максимальный рейтинг	Достаточный рейтинг для зачета
РГЗ	20	12
Контрольная работа	10	5
Итоговый тест	30	20
Итого:	60	37

Для получения зачета необходимо набрать не менее 62 баллов.

Вводная часть

Для аттестации студентов по дисциплине используется балльно-рейтинговая система. Сумма баллов за текущую деятельность составляет не более 60 баллов, количество баллов по итоговой аттестации (зачет) не превышает 40 баллов.

В течение 3 семестра необходимо выполнить и защитить расчетно-графическое РГЗ, выполнить контрольную работу по материалам лабораторных занятий в сроки, установленные учебным графиком (см. таблицу 6.2).

В течение 4 семестра необходимо выполнить и защитить 4 лабораторные работы., Выполнить и защитить 4 контрольные работы и РГР в сроки, установленные учебным графиком (см. таблицу 6.2).

Правила текущей аттестации

1. К защите лабораторной, контрольной работы и РГЗ допускается студент, выполнивший соответствующее задание в полном объеме и представивший отчет по приведенной на сетевом диске кафедры форме.
2. На защите студент должен ответить на 2-3 теоретических вопроса и 1-2 вопроса по порядку выполнения работы (программные средства, порядок вычислений и т.д.)
3. Максимальное количество баллов, соответствующее оценке «отлично», выставляется, если студент исчерпывающе ответил на все вопросы. Минимальное количество баллов, примерно равное половине от максимального и соответствующее оценке «удовлетворительно», выставляется, если при защите были выявлены серьезные недочеты. Среднее количество баллов выставляется в промежуточном случае (шкалу баллов см. в таблице 6.2).
4. Пересдача лабораторной, контрольной работы или РГЗ назначается в случае, если студент не ориентируется в учебном материале, не может объяснить ход и результаты выполнения работы. Пересдача, как и невыполнение учебного графика, сопровождается потерей 20-30% баллов.

Правила итоговой аттестации

1. К зачету допускаются студенты, защитившие лабораторные работы, контрольную работу и РГЗ и набравшие не менее 30 баллов по результатам текущего рейтинга.
2. Зачет проводится в виде теста из 40 вопросов. Каждый вопрос оценивается в 1 балл.
3. Сумма баллов теста и текущего рейтинга определяют итоговую оценку по дисциплине, как это показано в таблице 6.2.
4. Фрагменты контролируемых материалов приведены в разделе 8.

Таблица 6.2

№	Вид учебной работы	Диапазон баллов	неделя семестра
1	Лабораторная работа 1	4-6	2
2	Лабораторная работа 2	2-4	4
3	Лабораторная работа 3	2-4	6
4	Лабораторная работа 4	2-6	8
5	РГЗ	20-30	17
6	Контрольная работа	5-10	16
	Итого по рейтингу	35-60	
7	Зачет	30-40	
Итого по дисциплине		88-100 (отлично) 73-87 (хорошо) 50-72 (удовлетворит.)	

Для получения допуска к зачету студент должен набрать не мене 30 баллов по позициям 1...6 таблицы 6.2.

Соответствие проставляемых баллов за итоговую аттестацию оценками представлено в таблице 6.3

Таблица 6.3

Диапазон баллов	Оценка ESTS	Традиционная оценка	
97-100	A+	отлично	зачтено
94-96	A	отлично	зачтено
90-93	A-	отлично	зачтено
87-89	B+	отлично	зачтено
84-86	B	хорошо	зачтено
80-83	B-	хорошо	зачтено
76-79	C+	хорошо	зачтено
73-75	C	хорошо	зачтено
70-72	C-	удовлетворительно	зачтено
67-69	D+	удовлетворительно	зачтено
63-66	D	удовлетворительно	зачтено
60-62	D-	удовлетворительно	зачтено
50-59	E	удовлетворительно	зачтено
25-49	FX	неудовлетворительно	не зачтено

7. Список литературы

7.1 Основная литература

В печатном виде

1. 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. - Рекомендовано УМО.
2. Петров К. С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника : учебное пособие для вузов / К. С. Петров. - СПб. [и др.], 2006. - 521 с. : ил. - Рекомендовано УМО.

7.2 Дополнительная литература

В печатном виде

1. Росадо Л. Физическая электроника и микроэлектроника / Л. Росадо ; пер. с исп. С. И. Баскакова ; под ред. В. А. Терехова. - М., 1991. - 350, [1] с. : ил.
2. Пасынков В. В. Полупроводниковые приборы : учебник для вузов / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. - СПб., 2002. - 479 с. : ил.

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

В печатном виде

1. Расчет параметров полупроводников : Методические указания по выполнению расчетно-графической работы для студентов II курса факультета РЭФ направления 551100 "Проектирование и технология радиоэлектронных средств" и специальностей 201000 "Многоканальные телекоммуникационные системы", 201200 "Средства связи с подвижными объектами" / Новосиб. гос. техн. ун-т ; сост. С. В. Дорогой. - Новосибирск, 2003. - 19 с. : ил.

В электронном виде

1. Расчет параметров полупроводников : Методические указания по выполнению расчетно-графической работы для студентов II курса факультета РЭФ направления 551100 "Проектирование и технология радиоэлектронных средств" и специальностей 201000 "Многоканальные телекоммуникационные системы", 201200 "Средства связи с подвижными объектами" / Новосиб. гос. техн. ун-т ; сост. С. В. Дорогой. - Новосибирск, 2003. - 19 с. : ил. - Режим доступа: <http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2003/2578.rar>

8.2 Программное обеспечение

1. Microsoft, Office XP, Офисный пакет приложений
2. Microsoft, Windows, ОС для применения на серверах
3. Parametric Technology Corporation, MathCAD 14, Система автоматизации математических расчетов

9. Контролирующие материалы для аттестации студентов по дисциплине Экзаменационные вопросы 2011 г.

1. Генерация и рекомбинация носителей заряда в собственных и примесных полупроводниках.
2. Закон действующих масс. Механизмы образования основных и неосновных носители заряда.
3. Функция распределения Ферми-Дирака. Энергия (уровень) Ферми, расположение на зонной диаграмме $E(x)$.
4. Температурная зависимость концентрации основных носителей заряда в собственном и примесном полупроводниках.
5. Рассеяние носителей заряда. Подвижность носителей заряда, зависимость от физических параметров.
6. Диффузия, 1-й закон Фика. Коэффициент диффузии, температурная зависимость. Соотношение Эйнштейна.
7. Рекомбинационные процессы в полупроводниках (излучательные и безызлучательные).
8. Удельная электропроводимость полупроводников, температурная зависимость для собственных и примесных полупроводников.
9. Диффузионная и дрейфовая плотности токов.
10. Термоэлектрические эффекты Зеебека, Пельтье.
11. Контакт металл-полупроводник (омический), зонная диаграмма $E(x)$.
12. Контакт металл-полупроводник (неомический), зонная диаграмма $E(x)$.
13. P-n переход в состоянии термодинамического равновесия, зонная диаграмма $E(x)$, основные параметры.
14. Распределение объёмной плотности заряда, концентрации основных и неосновных носителей заряда в несимметричном идеальном p^+n переходе в состоянии термодинамического равновесия.
15. P-n переход при прямом смещении, зонная диаграмма $E(x)$, основные характеристики.
16. P-n переход при обратном смещении, зонная диаграмма $E(x)$, основные характеристики.
17. Контактная разность потенциалов в p-n переходе. Механизм образования.
18. Область пространственного заряда (ОПЗ) в идеальном p-n переходе. Структура, границы, причина образования ОПЗ.
19. Интегральная барьерная емкость p-n перехода. Причина образования.
20. Уравнения Пуассона. Определение напряженности электрического поля в p-n переходе в состоянии термодинамического равновесия.
21. Вольтамперная характеристика идеального p-n перехода (уравнение Шокли). Влияние на ВАХ физических параметров.
22. Ток насыщения идеального p-n перехода, физический смысл. Зависимость от параметров.
23. ВАХ туннельного диода, связь с зонной диаграммой $E(x)$.
24. Светоизлучающие диоды. Структура, принцип работы.
25. Солнечный элемент. Структура, принцип работы.
26. Принцип работы полупроводникового лазера. Инверсная населенность.
27. Причины отличия ВАХ идеального и реального p-n переходов.
28. Структура, принцип работы биполярного транзистора. Схемы включения.
29. Усиление сигнала биполярным транзистором в схеме с общей базой.
30. Усиление сигнала биполярным транзистором в схеме с общим эмиттером. Коэффициент усиления.
31. Статические ВАХ биполярного транзистора в схеме с общей базой.
32. Физические процессы в базе биполярного транзистора. Распределение концентрации неосновных носителей заряда в активном режиме (схема с общей базой).
33. Полевой транзистор с управляющим p-n переходом. Структура, принцип действия.
34. Процесс перекрытия канала в полевом транзисторе с управляющим p-n переходом.

35. Статические ВАХ полевого транзистора с управляющим р-п переходом. Коэффициент усиления (крутизна).
36. Эффект поля. МОП конденсатор. Режимы обеднения, обогащения, инверсии.
37. Полевой транзистор с индуцированным каналом. Структура, принцип действия.
38. Элементы памяти на полевых транзисторах с «плавающим затвором». Структура элементов, процессы зарядки и разрядки «плавающего затвора».

Примеры тестовых вопросов 2011 г.

1. Как изменится удельное электрическое сопротивление собственного полупроводника с ростом температуры?
 - 1.1. увеличится
 - 1.2. уменьшится
 - 1.3. не изменится
2. От чего зависит удельная электропроводимость примесных полупроводников при постоянной (300 К) температуре?
 - 2.1. от концентрации примеси
 - 2.2. от полярности приложенного напряжения
 - 2.3. от ширины запрещенной зоны
 - 2.4. от валентности примеси
3. Какой полупроводник имеет большее удельное электрическое сопротивление?
 - 3.1. примесный n-типа
 - 3.2. примесный р-типа
 - 3.3. компенсированный
 - 3.4. собственный
4. Чем в основном определяется собственная концентрация носителей заряда при $T = \text{const}$?
 - 4.1. шириной запрещенной зоны
 - 4.2. типом проводимости
 - 4.3. положением уровня Ферми
 - 4.4. эффективной массой
5. В каком полупроводнике собственная концентрация носителей заряда выше, если $E_g(\text{Ge}) = 0,66$ эВ, $E_g(\text{Si}) = 1,12$ эВ, $E_g(\text{GaAs}) = 1,44$ эВ?
 - 5.1. Ge
 - 5.2. Si
 - 5.3. GaAs
6. Какую часть электрического тока переносят дырки в собственном полупроводнике, если подвижность электронов в 3 раза больше, чем дырок?
 - 6.1. $2/3$
 - 6.2. $1/3$
 - 6.3. $1/4$
 - 6.4. $3/4$
7. Напряжение какой полярности возникает при облучении р-п перехода светом?
 - 7.1. плюс на р-области, если энергия кванта больше E_g
 - 7.2. плюс на n-области
 - 7.3. полярность напряжения определяется длиной волны падающего света
 - 7.4. плюс на р-области, если энергия кванта меньше E_g
 - 7.5. минус на n-области
8. Расположить в порядке возрастания значения работ выхода в собственном (Φ_i), электронном (Φ_n) и дырочном полупроводниках (Φ_p).
 - 8.1. $\Phi_n > \Phi_p > \Phi_i$
 - 8.2. $\Phi_i > \Phi_p > \Phi_n$
 - 8.3. $\Phi_p > \Phi_i > \Phi_n$

8.4. $\Phi_p > \Phi_n > \Phi_i$

9. Какое соотношение между токами выполняется в биполярном транзисторе в активном режиме в схеме с общей базой? $I_{\text{э}} = I_{\text{к}} < I_{\text{б}}$

9.1. $I_{\text{э}} > I_{\text{к}} \gg I_{\text{б}}$

9.2. $I_{\text{э}} > I_{\text{б}} \gg I_{\text{к}}$

9.3. $I_{\text{б}} > I_{\text{э}} > I_{\text{к}}$

9.4. $I_{\text{к}} > I_{\text{э}} \gg$

10. Как изменяется напряжение туннельного пробоя с ростом температуры?

10.1. увеличивается

10.1. уменьшается

10.2. не изменяется

11. В каком несимметричном переходе p+n или n+p, будет больше обратный ток при одинаковых концентрациях в соответствующих базовых и эмиттерных областях?

11.1. p⁺n

11.2. n⁺p

11.3. токи одинаковы