

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физико - технический институт  
Кафедра физической электроники нанофизики

Утверждено:  
на заседании кафедры физической  
электроники и нанофизики  
протокол №3 от « 12 » января 2022г.

Согласовано:  
Председатель УМК ФТИ

Зав. кафедрой  Шарипов Т.И.

 /\_ Балапанов М.Х.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ ЭЛЕКТРОНИКА)**

Дисциплина Полупроводниковая электроника

Вариативная часть  
(Б1.В.1.02.03.)

программа бакалавриата<sup>1</sup>

Направление подготовки (специальность)


03.03.03 Радиоп физика, квалификация (степень) бакалавр  
(указывается код и наименование направления подготовки (специальности))

Профиль) подготовки

Цифровые технологии обработки информации  
(указывается наименование направленности (профиля) подготовки)

Квалификация

Бакалавр радиоп физики

<p>Разработчик (составитель) <u>Доктор физ.-мат. наук, профессор</u> (должность, ученая степень, ученое звание)</p>	<p> /_ <u>Бахтизин Р.З</u> (подпись, Фамилия И.О.)</p>
---	--

Для приёма: 2022 г.  
Уфа 2022 г.

Составитель / составители:



д.ф.-м.н., профессор Бахтизин Р.З.

Рабочая программа дисциплины рассмотрена и одобрена на заседании кафедры протокол от «12» января 2022 г. № 3

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины, утверждены на заседании кафедры, протокол № 6 от «07» июня 2018 г.

Заведующий кафедрой



/ Шарипов Т.И. Ф.И.О/

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины, утверждены на заседании кафедры \_\_\_\_\_,  
протокол № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_ г.

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ Ф.И.О/

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины, утверждены на заседании кафедры \_\_\_\_\_,  
протокол № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_ г.

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ Ф.И.О/

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины, утверждены на заседании кафедры \_\_\_\_\_,  
протокол № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_ г.

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ Ф.И.О/

## Список документов и материалов (оглавление)

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы ( <i>с ориентацией на карты компетенций</i> )	<b>4</b>
2. Указание места дисциплины в структуре образовательной программы	<b>5</b>
3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся	<b>5</b>
4. Фонд оценочных средств по дисциплине	<b>6 (7)</b>
4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания	<b>7</b>
4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	<b>7, 8</b>
5. Содержание рабочей программы ( <i>Приложение №1</i> )	<b>8-10</b>
6. Список лабораторных работ	<b>10</b>
7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	<b>11</b>
7.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	<b>11</b>
7.2. Электронные ссылки для поиска основной и дополнительной литературы; Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины. Профессиональные базы данных	<b>11</b>
8. Вопросы и задания по самостоятельной работе студентов	<b>13</b>
9. Критерии оценки знаний, умений и навыков студентов; методические рекомендации студентам	<b>13, 14</b>
10. Вопросы к экзамену по курсу “Полупроводниковая электроника“	<b>14</b>
11. Задачи к зачету по полупроводниковой электронике	<b>15-16</b>
12. Тестовые задания	<b>16-22т</b>
13. Рейтинг-план дисциплины ( <i>Приложение №2</i> )	<b>23-24</b>

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы (с ориентацией на карты компетенций)

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

**ПК-1** Компетенции, необходимые для освоения дисциплины (основной этап формирования данной компетенции).

**ПК-2** способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.

Табл. 1

Результаты обучения		Формируемая компетенция (с указанием кода)	Примечание
Знания	1. Знать основные материалы, используемые в полупроводниковой электронике, технологии их получения и области применения	<b>ПК-1</b>	Кроме полупроводниковой электроники, эти вопросы входят в компетенцию физической электроники (ПК-1).
	2. Знать основные методы измерения работы выхода и др. характеристик, используемых в полупроводниковой электронике материалов	<b>ПК-2</b>	
	3. Знать приборную базу и конструкции основных устройств, используемых для определения базовых характеристик п/п материалов	<b>ПК-2</b>	
Умения	1. Использовать знания, полученные при изучении курса полупроводниковой электроники для последующего изучения курсов физики конденсированного состояния и нанوفизики	<b>ПК-1</b>	Кроме полупроводниковой электроники, эти вопросы входят в компетенцию физической электроники (ПК-1).
	2. Разрабатывать технологические карты получения новых полупроводниковых материалов и пленочных систем	<b>ПК-1</b>	
	3. Использовать правильную терминологию, определения/обозначения/единицы измерения величин для описания характеристик полупроводниковых материалов	<b>ПК-2</b>	
Владения (навыки-опыт деятельности)	1. Владеть экспериментальными навыками по определению свойств материалов, в том числе методами электронной и фотоэлектронной спектроскопии	<b>ПК-1</b>	Кроме полупроводниковой электроники, эти вопросы входят в компетенцию физической электроники (ПК-1).
	2. Владеть методиками решения задач по определению базовых характеристик тонких пленок металлов и полупроводников	<b>ПК-2</b>	Кроме полупроводниковой электроники, эти вопросы входят в компетенцию физической электроники (ПК-1).

## 2. Указание места дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Полупроводниковая электроника» является базовой и входит в раздел Б1.Б.12.2 (модуль электроника, профессиональный цикл) ФГОС по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика».

Знания, полученные в результате освоения курса «Полупроводниковая электроника» позволяют создавать электронные приборы и вырабатывать методы исследования новых материалов, необходимых для разработки электронных приборов и устройств, так что изучение дисциплины является необходимым элементом подготовки специалистов по данному направлению. Цель курса «Полупроводниковая электроника» - теоретическая и практическая подготовка студентов, которая должна обеспечивать понимание работы современных электронных приборов, методов измерения физических величин, принципов построения и путей совершенствования современных **цифровых** систем измерений.

Дисциплина «Полупроводниковая электроника» одна из основных дисциплин профиля, так как без знания физико-химических характеристик материалов и протекающих в них процессов невозможны сознательные и эффективные подходы к разработке изделий электронной техники и к организации технологических процессов. По предмету и методам своих исследований данный курс тесно связан с физикой конденсированного состояния и физическими основами электроники и способствует формированию у будущих специалистов принципов физического и инженерного подхода к оценке возможностей использования материалов в конкретных элементах и устройствах электронной техники. Задачи курса- закрепление знаний, понятий, положений и теорем курсов «Основы радиоэлектроники», «Теория электрических цепей», «Квантовой механики» и курса «ФКС» и формирование умений применять эти знания на практике для разработки новых приборов, методов диагностики поверхности твердых тел, а также обеспечение понимания студентами связи между теоретическими моделями и особенностями их практической реализации.

2.3. *Место дисциплины в учебном процессе.* Согласно государственному образовательному стандарту ФГОС курс «Полупроводниковая электроника» является общепрофессиональной дисциплиной для студентов, обучающимися по направлению 03.03.03 «Радиофизика» и изучается студентами в 5-м семестре.

## 3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Согласно ОП подготовки бакалавра по направления 03.03.03 «Радиофизика», профиль «Цифровые технологии обработки информации» и рабочему учебному плану (РУП) по дисциплине «Полупроводниковая электроника» отводится:

общий объем часов по дисциплине 108 (всего 3 ЗЕТ);  
в том числе аудиторных часов 40;  
контактных часов 40.

Разбиение общего числа часов по видам учебных занятий с указанием их объемов приведено в таблице 2

Табл. 2

Виды учебной работы	Общий объем по РУП_102_
Аудиторные занятия	40
Лекции	18
Лабораторные занятия	6
Семинарские занятия	16
Самостоятельная работа студентов	66
Контроль самостоятельной работы (КСР)	2
Виды контроля	Экзамен

#### 4. Фонд оценочных средств по дисциплине

Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Код и формулировка компетенции.

**ПК-1** - способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 «Хорошо»	5 «Отлично»
Первый этап (начальный уровень)	Знать основы квантовой теории, основы кристаллографии, статистические распределения; границы применимости классических и квантовых моделей физических явлений: свободных электронов Зоммерфельда, почти свободных электронов, приближение сильно связанных электронов, тензор эффективной массы, механизмы рассеяния носителей тока в полупроводниках, фононы, подвижность, электроперенос, разогрев носителей тока, эффект Пула, эффект Сасаки, доменная электрическая неустойчивость, эффект Ганна.	0-44 баллов	45-59 баллов	60-79 баллов	80-100 баллов
Второй этап (базовый уровень)	Неравновесные носители тока в полупроводниках, диффузия и дрейф носителей тока, контактные явления, барьеры Шоттки, <b>p-n</b> переход	0-44 баллов	45-59 баллов	60-79 баллов	80-100 баллов
Третий этап (повышенный уровень)	Владеть навыками использования биполярных/полевых транзисторов, <b>p-i-n</b> диодов, варикапов, СВЧ диодов и транзисторов.	0-44 баллов	45-59 баллов	60-79 баллов	80-100 баллов

**ПК-2** - способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин.

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 «Неудовл.»	3 «Удовлетворительно»	4 «Хорошо»	5 «Отлично»
Первый этап (начальный уровень)	Знать основы квантовой теории, уравнения движения микрочастиц, основы кристаллографии, квантовые статистические распределения; границы примени-	0-44 баллов	45-59 баллов	60-79 баллов	80-100 баллов

	мости классических и квантовых моделей физических явлений; основные экспериментальные факты из физики полупроводников, поведение носителей тока в сильных электрических полях, равновесные/неравновесные носители тока, диффузия и дрейф				
Второй этап (базовый уровень)	1. Уметь решать задачи по основным темам полупроводниковой электроники. 2. Уметь определять основные характеристики полупроводниковых приборов (диодов, транзисторов)	0-44 баллов	45-59 баллов	60-79 баллов	80-100 баллов
Третий этап (повышенный уровень)	Рекомендовать необходимые полупроводниковые приборы для решения конкретных схемотехнических задач	0-44 баллов	45-59 баллов	60-79 баллов	80-100 баллов

Критериями оценивания являются баллы, которые выставляются преподавателем за виды деятельности (оценочные средства) по итогам изучения модулей (разделов дисциплины), перечисленных в рейтинг-плане дисциплины.

**Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Этапы освоения	Результаты обучения	Компетенция	Оценочные средства
1-й этап Знания	Знать основы квантовой теории, уравнения движения микрочастиц, основы кристаллографии, квантовые статистические распределения; границы применимости классических и квантовых моделей физических явлений; основные экспериментальные факты из физики полупроводников, поведение носителей тока в сильных электрических полях, равновесные/неравновесные носители тока, диффузия и дрейф	<b>ПК-1,</b> <b>ПК-2</b>	Тест, контрольная работа
2-й этап Умения	1. Уметь решать задачи по основным темам полупроводниковой электроники. 2. Уметь определять основные характеристики полупроводниковых приборов (диодов, транзисторов)	<b>ПК-1,</b> <b>ПК-2</b>	Контрольная работа, Тест
3-й этап Владеть навыками	Рекомендовать необходимые полупроводниковые приборы для решения конкретных схемотехнических задач	<b>ПК-1,</b> <b>ПК-2</b>	Контрольная работа, тест

## 5. Содержание рабочей программы

№ п/п.	Тема и содержание	Форма изучения материала	Кол-во часов	Основная и дополн. литерат.	Задания по самост. работе студентов	Кол-во часов самост. работы	Форма контроля самост. работы
1	<b>Введение.</b> Основные задачи, решаемые в курсе п/п электроники.	Лекции	2	Л. 1 Л. 2; Л. 10	По списку заданий	2	
2	<b>Модуль 1.</b> <b>Кристаллическое строение твердого тела</b> 1. Идеальные кристаллы, кристаллическая решетка, решетки Браве. 2. Обозначение плоскостей и направлений в кристаллах. Индексы Миллера. Вектор обратной решетки. 3. Виды химической связи в полупроводниковых кристаллах. 4. Реальные кристаллы и их структура. Дефекты кристаллической решетки и их классификация. Роль примесей и дефектов в п/п. 5. Тепловые колебания в простой и сложной одномерных решетках. Фононы.	Лекции  Лабораторные занятия  Семинарские занятия	2  0  2	Л. 1 Л. 9 Л. 11	Индивидуальные задания	8	Отчет к лабор. работе  Коллоквиум
3	<b>Элементы зонной теории твердого тела</b> 1. Уравнение Шрёдингера для кристалла. Адиабатическое и одно-электронное приближения. 2. Состояния электронов в периодическом поле; теорема Блоха. 3. Модель свободных электронов Зоммерфельда. 4. Модель Кронига-Пенни. 5. Приближение слабо связанных электронов. Зоны Бриллюэна. 6. Приближение сильно связанных электронов. Эффективная масса. Тензор эффективной массы. 7. Особенности образования энергетических зон в кристалле. 8. Энергетические уровни дефектов и примесей в полупроводниках.	Лекции  Лабораторные занятия  Семинарские занятия	2  0  2	Л. 1 Л. 2 Л. 3 Л. 4 Л. 6	Индивидуальные задания	10	Текущие проверки конспектов прочитанной литературы.  Отчет к лабор. работе
4	<b>Статистика электронов и дырок в полупроводниках</b> 1. Типы статистики электронов. Статист. Ферми-Дирака. Физический смысл уровня Ферми. Плотность квантовых состояний.	Лекции	2	Л. 1 Л. 2	Индивидуальные задания	10	Коллоквиум
	2. Уравнение электронейтральности. Статистическое распределение электронов и дырок в полупроводника. Выражения для concentra-						



	<p>ции носителей тока в собственном и примесном полупроводниках.</p> <p>3. Зависимость положения уровня Ферми от температуры. Вырожденный случай. Критерий вырождения.</p> <p>4. Закон действующих масс в полупроводниках.</p>						
5	<p><b>Кинетические явления в полупроводниках</b></p> <p>1. Кинетическое уравнение Больцмана. Неравновесная функция распределения электронов. Время релаксации. Эффект Холла.</p> <p>2. Электропроводность в слабых электрических полях, закон Ома.</p> <p>3. Подвижность носителей тока; типы и механизмы рассеяния</p> <p>4. Электропроводность в сильных электрических полях, закон Пула.</p> <p>5. Разогрев электронного газа, горячие электроны, температура электронного газа.</p> <p>6. Влияние поля на подвижность и концентрацию носителей тока. Внутренний пробой в полупроводниках. Квантовый эффект Холла.</p> <p>6. Доменная электрическая неустойчивость в полупроводниках, шнурование тока. Эффект Ганна и его приложения.</p> <p>7. Эффект Сасаки. Эффект Франца-Келдыша.</p>	<p>Лекций</p> <p>2</p> <p>Лабораторные занятия</p> <p>0</p> <p>Семинарские занятия</p> <p>2</p>	2	Л. 2 Л. 5 Л. 6	По списку вопросов	10	<p>Отчет к лабор. работе</p> <p>Рубежный контроль</p>
6	<p><b>Модуль 2.</b></p> <p><b>Неравновесные явления в полупроводниках.</b></p> <p>1. Неравновесные носители тока в п/п. Квазиуровни Ферми. Время жизни. Типы рекомбинации, линейная/квадратичная рекомбинация.</p> <p>2. Межзонная рекомбинация, рекомбинация по механизму Шокли-Рида. Демаркационные уровни.</p> <p>3. Диффузия и дрейф носителей тока. Уравнение непрерывности. Монополярная диффузия. Длина экранирования Дебая. Соотношение Эйнштейна. Биполярная диффузия. Экспериментальные методы определения диффузионной длины и дрейфовой подвижности.</p>	<p>Лекции</p> <p>2</p> <p>Лабораторные занятия</p> <p>2</p> <p>Семинарские занятия</p> <p>2</p>	2	Л. 1 Л. 2 Л. 10	Индивидуальные задания Индивидуальные задания	10	<p>Текущие проверки конспекто в изучения литературы.</p> <p>Отчет к лабор. работе</p>
7	<p><b>Контактные явления в полупроводниках.</b></p> <p>1. Контакт полупроводника с металлом. Барьер Шоттки.</p> <p>2. Вольтамперная характеристика контакта полупроводник-металл.</p> <p>3. Электронно-дырочный переход и его свойства.</p> <p>4. Гетероструктуры. Гетеропереходы и их характеристики.</p>	<p>Лекции,</p> <p>2</p> <p>Семинарские занятия</p> <p>4</p>	2	Л.1. Главы 2,3. Л 1,2. Глава 1. Л.10.Гл. 6.	По списку вопросов	10	Коллоквиум, зачет
8	<p><b>Приборы с p-n переходами</b></p> <p><b>1. Полупроводниковые диоды.</b></p>	<p>Лекции,</p> <p>2</p>	2	Л. 1	Индиви-	3	Текущие

	<p>Выпрямительные и высокочастотные диоды. Импульсные диоды, <math>p-i-n</math> диоды. Варикапы. Стабилитроны, Импульсные и частотные свойства диодов. СВЧ диоды. Туннельные и обращенные диоды Лавинно-пролетные диоды. Диоды Шоттки. Диоды Ганна.</p> <p><b>2. Биполярные транзисторы.</b> Классификация, структура. Коэффициенты инжекции, переноса. Параметры транзисторов в схемах с ОБ, ОЭ и ОК. Процессы в базе. Дифференциальные сопротивления переходов. Емкости переходов. Особенности физических процессов в базе дрейфового транзистора. Фактор поля. Эквивалентные схемы реальных транзисторов для больших сигналов. Малосигнальные Т-образные эквивалентные схемы. <math>h</math>-параметры. Связь <math>h</math>-параметров с параметрами эквивалентных схем. Частотные свойства транзисторов. Импульсные свойства транзисторов.</p>	<p>лабораторные занятия,</p> <p>Семинарские занятия</p> <p>Семинарские занятия</p>	<p>2</p> <p>2</p> <p>2</p>	<p>Л. 2 Л. 10</p>	<p>дуальные задания</p>		<p>проверки конспектов в изучения литературы</p>
9	<p><b>Полевые транзисторы (ПТ)</b> ПТ с управляющим <math>p-n</math> переходом; Квантовый эффект Холла. Физические принципы работы и вольтамперные характеристики. ПТ с переходом Шоттки. МДП-транзисторы с индуцированным/встроенным каналом. Эквивалентные схемы ПТ.</p>	<p>Лекции,</p> <p>лабораторные занятия,</p>	<p>2</p> <p>2</p>	<p>Л. 1 Л. 2 Л. 6</p>	<p>Индивидуальные задания</p>	3	Экзамен

## 6. Список лабораторных работ

1. Исследование характеристик полупроводниковых диодов
2. Исследование статических характеристик биполярного транзистора
3. Исследование характеристик и параметров полевых транзисторов
4. Исследование частотных свойств биполярного транзистора
5. Исследование усилительных свойств биполярного транзистора
6. Ключевой (импульсный) режим работы транзистора
8. Определение концентрации и холловской подвижности заряда в полупроводниках.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

#### Основная литература

- [1]. Воронков Э.Н., Гуляев А.М., Мирошникова И.Н., Чарыков Н.А. “Твердотельная электроника”. М.: Академия. 2009.
- [2]. Гарифуллин Н.М. “Электроника”. Уфа, Изд-во БашГУ. 2013, -92с.

#### Дополнительная литература

- [3]. Питер Ю., Кардона М. “Основы физики полупроводников”. 2002. М : Физматлит.
- [4]. Владимирская Е.В., Гасумянц В.Э., Сидоров В.Г. “Физика твердого тела. Равновесная статистика носителей заряда в полупроводниках”. Санкт-Петербург. Изд-во СПбГТУ. 2000, -64с.
- [5]. Сугано Т., Икома Т., Такэиси Ё. “Введение в микроэлектронику”. М.: Мир. 1988.
- [6]. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов/ Н.М. Тугов, Б.А. Глебов, Н.А. Чарыков; Под общей редакцией В.А. Лабунцова. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576с.
- [7]. Гарифуллин Н.М. “Физические основы электроники”. Уфа, Изд-во БашГУ. 2003, -95с.

#### Электронные ссылки для поиска основной и дополнительной литературы:

1. Электронная библиотечная система «ЭБ БашГУ» - <https://elib.bashedu.ru/>
2. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» - <https://biblioclub.ru/>
3. Электронная библиотечная система издательства «Лань» - <https://e.lanbook.com/>
4. Электронный каталог Библиотеки БашГУ - <http://www.bashlib.ru/catalogi/>

#### Профессиональные базы данных

1. Универсальная Базы данных EastView (доступ к электронным научным журналам) - <https://dlib.eastview.com/browse>
2. Научная электронная библиотека - elibrary.ru (доступ к электронным научным журналам) - [https://elibrary.ru/projects/subscription/rus\\_titles\\_open.asp](https://elibrary.ru/projects/subscription/rus_titles_open.asp)

## 8. Вопросы и задания по самостоятельной работе студентов

### А. Физика полупроводников

Природа химической связи в полупроводниках. Структура кристаллов. Идеальные и реальные кристаллы. Дефекты в кристаллах. Свойства основных монокристаллических материалов микроэлектроники: Si, GaAs, Ge. Поликристаллические и амфорные полупроводники. Зонная теория твердого тела. Энергетические спектры электронов в металлах, полупроводниках, диэлектриках. Зона проводимости и валентная зона. Эффективная масса электрона. Собственные и примесные полупроводники. Роль донорных и акцепторных примесей. Основы статистической физики. Функция распределения Ферми-Дирака. Концентрация электронов и дырок в зонах. Температурные зависимости. Распределение Больцмана. Критерий вырождения электронного газа. Вырожденные и невырожденные полупроводники.

Рекомбинация носителей. Рекомбинация «зона-зона» и рекомбинация через примеси и дефекты. Теория рекомбинации Шокли-Рида.

Диффузионная длина и время жизни носителей тока. Поверхностная рекомбинация. Электропроводность полупроводников. Носители заряда в слабом электрическом поле. Взаимодействие с фотонами, примесными атомами, дефектами. Подвижность электронов и дырок. Условие электронейтральности. Диффузия и дрейф носителей заряда. Соотношение Эйнштейна. Носители зарядов в сильном электрическом поле. Горячие электроны. Лавинное умножение в полупроводниках. Электрические домены и токовые шнуры. Эффект Ганна. Уравнение для плотности электрического тока в полупроводниках. Уравнение непрерывности. Уравнение Пуассона. Электронно-дырочный переход (*p-n*). Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда. Вольт-амперная характеристика *p-n* перехода. Токи носителей заряда в *p-n* переходе, квазиуровни Ферми. Коэффициент инжекции. Генерация и рекомбинация носителей в *p-n* переходе. Барьерная и диффузионная ёмкость. Пробой *p-n* перехода: тепловой, лавинный, туннельный. Контакт металл-полупроводник. Омический и выпрямляющий контакты. Барьеры Шоттки. Гетеропереходы. Поверхностные состояния. Структуры металл-диэлектрик полупроводник (МДП). Полевой эффект в МДП-структурах. Теплопроводность полупроводников. Термоэлектрические явления. Термо- и гальваномагнитные эффекты. Эффект Холла. Поглощение/излучения в полупроводниках. Прямые и не прямые переходы носителей заряда. Виды люминесценции: инжекционная, катодо- фотолюминесценция. Электролюминесценция порошковых и пленочных полупроводников Основные материалы оптоэлектроники: соединения  $A^3B^5$  и  $A^2B^6$ . Электро-, магнито- и акустооптические эффекты в твердых телах.

### Б. Приборы твердотельной электроники и микроэлектроники

**Полупроводниковые диоды.** Основные параметры и характеристики диодов, их зависимость от температуры и режима. Эквивалентные схемы. Импульсные и частотные свойства диодов. Выпрямительные и импульсные диоды. Диоды с накоплением заряда. Варикапы. Стабилитроны. Туннельные и обращенные диоды. Лавинно-пролетные диоды. Диоды Шоттки. Диоды Ганна. Диоды для СВЧ диапазона.

**Биополярные транзисторы.** Структура и принцип действия. Основные параметры и характеристики транзисторов, их зависимость от температуры и режима работы. Эквивалентные схемы транзистора. Импульсные и частотные свойства транзисторов. Работа транзистора при высоком уровне инжекции. СВЧ транзисторы. Мощные транзисторы. Тиристоры, принцип их действия, классификация. Основные параметры и характеристики. Полевые транзисторы: МДП, с *p-n* переходом и с барьером Шоттки. Принцип действия. Модуляция глубины канала. Основные параметры и характеристики полевых транзисторов. Эквивалентные схемы полевых транзисторов. Частотные и импульсные свойства полевых транзисторов. МНОП-структуры. Интегральные микросхемы. Элементы ИС: транзисторы, диоды, резисторы, конденсаторы в составе ИС. Классификация ИС. Цифровые и аналоговые ИС. Полупроводниковые ЗУ и микропроцессоры.

## 9. Критерии оценки знаний, умений и навыков студентов

Итоговой формой контроля знаний, умений и навыков по дисциплине является экзамен. Экзамен проводится по билетам, которые включают два теоретических вопроса и две задачи. Оценка знаний студентов производится по следующим критериям:

Оценка **«отлично»** выставляется студенту, если он свободно ориентируется в основных понятиях, определениях и выводах данного предмета, четко представляет назначение, схемотехнику построения и выполняемые функции радиотехнических компонентов, умеет реализовывать алгоритмы цифровой обработки сигналов на функциональном и программном уровне, четко представляет источники возникновения погрешностей и методы их расчета.

Оценка **«хорошо»** выставляется студенту, если он свободно ориентируется в основных понятиях, определениях и выводах данного предмета, четко представляет назначение, схемотехнику построения и выполняемые функции радиотехнических компонентов, умеет реализовывать алгоритмы цифровой обработки сигналов на функциональном и программном уровне, четко представляет источники возникновения погрешностей и методы их расчета, однако, для полного ответа на отдельные поставленные вопросы требуются дополнительные пояснения и уточнения со стороны преподавателя.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется студенту, если он ориентируется в основных понятиях, определениях и выводах данного предмета, в целом представляет назначение, схемотехнику построения и выполняемые функции радиотехнических компонентов, умеет реализовывать алгоритмы цифровой обработки сигналов на функциональном и программном уровне, имеет общее представление об источниках возникновения погрешностей и методах их расчета, однако, для полного ответа на отдельные поставленные вопросы требуются существенные пояснения и уточнения со стороны преподавателя.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется студенту, если он не ориентируется в основных понятиях, определениях и выводах данного предмета, не представляет себе назначение, схемотехнику построения и выполняемые функции радиотехнических компонентов, затрудняется в реализации алгоритмов цифровой обработки сигналов на функциональном и программном уровне, не имеет общих представлений об источниках возникновения погрешностей и методах их расчета.

### Методические рекомендации студентам

Приступая к изучению предмета, следует ознакомиться с учебной программой курса «Полупроводниковая электроника».

- Каждый раздел и подраздел курса «Полупроводниковая электроника» должен быть кратко законспектирован.
- После проработки каждого раздела курса «Полупроводниковая электроника» по конспектам лекций и по рекомендованным учебным пособиям необходимо ответить на контрольные вопросы, помещенные в конце каждой темы учебного пособия.
- Преподаватель проводит в конце каждого семестра собеседование со студентами по конспектам лекций и других записей.
- Отчеты по лабораторным работам оформляются на компьютере индивидуально каждым студентом. Все графические и численные результаты формируются в виде цифровых копий экрана. Полученные на лабораторных занятиях результаты переписываются на индивидуальные съемные носители.
- По каждому заданию лабораторной работы в отчете должны быть сформулированы аргументированные выводы. Не допускается ограничиваться выводами не по существу. Например, не следует

использовать фразы со словами «Выполнили ...», «Изучили ...», «Освоили ...», «Узнали ...» и т.п.

- Отчет по каждой лабораторной работе публично защищается студентом. Во время защиты студент

должен продемонстрировать понимание всех методических подходов, связанных с выполнением данной лабораторной работы. Полученные численные и графические результаты должны быть кратко описаны в тексте отчета и в выводах.

- При защите каждой лабораторной работы студент должен показать следующее:  
Степень усвоения теоретического материала;  
Практические навыки выполнения компьютерных расчетов по изученным теоретическим зависимостям;  
Умение расчетов погрешностей измерений, связанные с цифровой обработкой измерительной информации и особенностями выбранных систем управления; Объем и полноту изучения рекомендованных литературных источников.

#### 10. Вопросы к экзамену по курсу “Полупроводниковая электроника“

1. Идеальные кристаллы, кристаллическая решетка, решетки Браве.
2. Обозначение плоскостей и направлений в кристаллах. Индексы Миллера. Вектор обратной решётки.
3. Виды химической связи между атомами.
4. Реальные кристаллы и их структура. Дефекты кристаллической решетки и их классификация.
5. Роль примесей и дефектов в полупроводниках. Тепловые колебания решетки. Фононы.
6. Уравнение Шрёдингера для кристалла.
7. Адиабатическое и одноэлектронное приближения.
8. Состояния электронов в периодическом поле; теорема Блоха.
9. Модель свободных электронов Зоммерфельда.
10. Модель Кронига-Пенни.
11. Приближение слабосвязанных электронов.
12. Зоны Бриллюэна.
13. Приближение сильно-связанных электронов.
14. Эффективная масса. Тензор эффективной массы.
15. Особенности образования энергетических зон в кристалле. Энергетические уровни дефектов и примесей в полупроводниках.
16. Типы статистики электронов. Статистика Ферми-Дирака.
17. Физический смысл уровня Ферми. Плотность квантовых состояний. Уравнение электронейтральности.
18. Статистическое распределение электронов и дырок в полупроводника. Выражения для концентрации электронов и дырок в собственном полупроводнике.
19. Выражения для концентрации электронов и дырок в примесных полупроводниках.
20. Зависимость положения уровня Ферми от температуры. Вырожденный случай.
21. Критерий вырождения. Закон действующих масс в полупроводниках.
22. Кинетическое уравнение Больцмана.
23. Неравноценная функция распределения электронов. Время релаксации.
24. Электропроводность в слабых электрических полях, закон Ома.
25. Подвижность носителей тока. Типы и механизмы рассеяния носителей тока.
25. Электропроводность в сильных электрических полях, закон Пула.
26. Разогрев электронного газа, горячие электроны, температура электронного газа.
27. Влияние поля на подвижность и концентрацию носителей тока.
28. Доменная электрическая неустойчивость в полупроводниках, шнурование тока.
29. Эффект Ганна и его приложения.
30. Эффект Сасаки.

31. Внутренний пробой в полупроводниках.
32. Эффект Холла.
33. Неравновесные носители тока в полупроводниках. Квазиуровни Ферми.
34. Время жизни неравновесных носителей тока в полупроводниках.
35.  $\tau$ -метр Рывкина.
36. Типы рекомбинации, линейная и квадратичная рекомбинация.
37. Фотопроводимость в полупроводниках.
38. Межзонная рекомбинация, рекомбинация по механизму Шокли-Рида.
39. Демаркационные уровни.
40. Уравнение непрерывности. Диффузия и дрейф носителей тока.
41. Монополярная диффузия. Длина экранирования Дебая. Соотношение Эйнштейна.
42. Биполярная диффузия и ее закономерности.
43. Экспериментальные методы определения диффузионной длины и дрейфовой подвижности электронов.
44. Работа выхода электронов. Контакт полупроводника с металлом.
45. Барьер Шоттки и его свойства.
46. Выпрямления на контакте полупроводник-металл. Вольтамперная характеристика контакта.
47. Омические контакты.
48. Электронно-дырочный переход и его свойства.
49. Гетероструктуры. Гетеропереходы и их характеристики.

### 11. Задачи к зачету по полупроводниковой электронике

Найти положение уровня Ферми и температурную зависимость концентрации в собственном полупроводнике в невырожденном случае. Как изменится концентрация электронов при изменении температуры от  $200^0\text{ К}$  до  $300^0\text{ К}$ , если  $E_g = (0,785 - \xi T)\text{ эВ}$ ?

Концентрация электронов в собственном полупроводнике при температуре  $400\text{ К}$  равна  $1,38 \times 10^{15}\text{ см}^{-3}$ . Определить величину произведения эффективных масс электрона и дырки, если известно, что ширина запрещенной зоны меняется по закону  $E_g = (0,785 - 4 \times 10^{-4} T)\text{ эВ}$ .

В исследуемом полупроводнике по данным измерения эффекта Холла концентрация электронов при  $400^0\text{ К}$  составляла  $1,3 \times 10^{16}\text{ см}^{-3}$ , а при  $350^0\text{ К}$  —  $6,2 \times 10^{15}\text{ см}^{-3}$ . Найти ширину запрещенной зоны материала, считая, что она меняется с температурой по линейному закону.

В момент времени  $t_1 = 10^{-4}\text{ сек}$  после включения равномерной по объему генерации электронно-дырочных пар неравновесная концентрация носителей оказалась в 10 раз больше, чем в момент  $t_2 = 10^{-3}\text{ сек}$ . Определить время жизни  $\tau$ , если уровень возбуждения невелик, и рекомбинация идет через простые дефекты.

Вычислить относительное изменение проводимости  $\frac{\Delta\sigma}{\sigma_0}$  при стационарном освещении с интенсивностью  $J = 5 \times 10^{15}$  квантов на  $1\text{ см}^2$  в 1 сек. Коэффициент поглощения  $\alpha = 100\text{ см}^{-1}$ ; толщина образца мала по сравнению с  $\alpha^{-1}$ ; рекомбинация происходит на простых дефектах;  $n_0 = 10^{15}\text{ см}^{-3}$ ;  $\tau = 2 \times 10^{-4}\text{ сек}$ .

Определить закон изменения со временем концентрации носителей в материале n-типа, если после выключения источника генерации в момент  $t=0$  рекомбинация идет со скоростью  $a = (np - n_i^2)$ ,  $a = \text{const}$ .

В n-Ge имеются центры рекомбинации с  $N_t = 5 \times 10^{12}\text{ см}^{-3}$  и  $E_t = (E_c + E_v)/2$  при  $300^0\text{ К}$  сечения захвата электронов и дырок одинаковы, при малых отклонениях от равновесия  $\tau = 10^{-4}\text{ сек}$ ,  $\rho = 5\text{ Ом} \times \text{см}$ . Найти сечение захвата  $S$ .

Вычислить коэффициент диффузии электронов в невырожденном германии при комнатной температуре ( $\mu_n = 3800\text{ см}^2/\text{В} \times \text{сек}$ ).

Вычислить коэффициент диффузии электронов  $\alpha$  в случае полного вырождения. Закон дисперсии электронов имеет вид  $E_n(\vec{k}) = E_c + \frac{\hbar^2 k^2}{2m_n}$ ,  $\mu_n = 300 \text{ см}^2/\text{В} \times \text{сек}$ ,  $m = 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ,  $m_n = 0,2m_0$ .

Вычислить коэффициент биполярной диффузии для собственного германия при комнатной температуре ( $b=2,1$ ,  $\mu_n = 3800 \text{ см}^2/\text{В} \times \text{сек}$ ).

- 3.1. В образце  $n$ - типа плотность тока вдоль оси  $X$  есть  $j_x = 0,1 \text{ А}/\text{см}^2$ . Магнитное поле по оси  $Z$   $H = 1000 \text{ Э}$ . В условиях рассеяния на колебаниях решетки  $\mu_{nH} = 1,18\mu_n$ . Определить холловское напряжение  $U_H$  и  $R$ , если  $n_0 = 10^{15} \text{ см}^{-3}$  и размер образца в направлении  $Y$  равен  $a = 0,5 \text{ см}$ .
- 4.2. При наложении на образец  $p$ - типа магнитного поля  $H_z = 4000 \text{ Э}$ , поперечного направлению тока, сопротивление увеличилось на  $0,22\%$ . Определить коэффициент магнитного сопротивления  $\xi_p$  и коэффициент  $\eta_p$ , если  $\mu_{pH} = 2240 \text{ см}^2/\text{В} \times \text{сек}$ .

Найти изменение работы выхода электронов, если на поверхности полупроводника адсорбированы молекулы

с дипольным моментом  $d = e\ell = 10^{-18}$  ед. CGSE и плотность  $N = 10^{12} \text{ см}^{-2}$ .

Вычислить величину загиба зон на поверхности собственного Ge при комнатной температуре, если на этой поверхности адсорбирована донорная примесь с плотностью  $N = 10^{12} \text{ см}^{-2}$ . Ход потенциала  $\varphi(x)$  аппроксимировать двумя прямолинейными участками:

$$\varphi = \begin{cases} \varphi_0 - E_x x & 0 \leq x \leq \varphi_0 / E \\ 0, & x > \varphi_0 / E \end{cases}, \quad E - \text{постоянная величина. Искривление зон на поверхности}$$

большое:

$$e\varphi_0/kT \gg 1, \quad n_i = 2,0 \times 10^{13} \text{ см}^{-3}, \quad \epsilon = 16.$$

Найти фото-эдс в полупроводнике с униполярной проводимостью при произвольной степени вырождения.

Вычислить фото-эдс в  $n$ -Ge при  $T = 300 \text{ К}$ , если его средняя часть освещена так, что в ней

$\Delta\sigma = 0$ . В отсутствие освещения удельное сопротивление в сечении  $A$   $\rho_{0A} = 15 \text{ Ом} \times \text{см}$ , в сечении  $B$   $\rho_{0B} = 15 \text{ Ом} \times \text{см}$ .

- 6.2. В условиях, аналогичных предыдущей задаче, найти фото-эдс при  $\rho_{0A} = 10 \text{ Ом} \times \text{см}$ ,  $\rho_{0B} = 8 \text{ Ом} \times \text{см}$  и при двух значениях  $\Delta\sigma$ :  $\Delta\sigma_1 = 0,01 \text{ Ом}^{-1} \times \text{см}^{-1}$  и  $\Delta\sigma_2 = 2 \text{ Ом}^{-1} \times \text{см}^{-1}$ .

## 12. Тестовые задания

### *Пояснительная записка*

Тестовые задания по физической электронике для самоконтроля составлены в соответствии с обязательным минимумом содержания рабочей программы по дисциплине «Физическая электроника» и требованиями ФГОС-4 к уровню подготовки выпускников по направлению 03.03.03 Радиофизика, квалификация (степень) - бакалавр, профиль – Цифровые технологии обработки информации

Целью работы с тестовыми заданиями является контроль степени усвоения учащимися основных понятий тем курса «Физическая электроника», законов, умения соотносить особенности и свойства элементов электрических цепей и процессов в них; умения анализировать результаты измерений и решать на качественном уровне практические расчетные задач.

В тестовые задания включены 30 вопросов, ориентированных на проверку подготовки учащихся по физической электронике на базовом уровне.

Эти конкретные вопросы позволяют проверить владение базовыми понятиями, понимание физических процессов в электрических цепях, устройствах и объектах, и возможность использования знаний в практических задачах.

Данные задания по тестированию рассчитаны на один академический час (45 минут).

### *Инструкция перед проведением тестирования.*

Для выполнения проверочной работы по тестовым заданиям дается 45 мин.



Работа включает 18 заданий в форме вопроса. К каждому вопросу даются 5 вариантов ответов, из которых верен только один.

Следует внимательно прочитать отдельно каждый вопрос и предлагаемые варианты ответа. Отвечать только после того, как поняли и проанализировали все варианты ответа и выполнили необходимые вычисления.

Задания следует выполнять в том порядке, в котором они даны. Если какое-то задание не удаётся выполнить сразу, то в целях экономии времени можно его пропустить и постараться выполнить те, в которых уверены. Если останется время, то следует вернуться к пропущенным заданиям.

### **Критерии оценки.**

Для получения отметки «3» достаточно верно выполнить 60% заданий базового уровня, ответив на не менее 18 вопросов.

Для получения отметки «4» необходимо ответить на **23** вопроса.

Для получения отметки «5» необходимо ответить на все **30** вопросов.

### **Тест 1**

На каждый вопрос предлагаются варианты ответов, один из которых верный.

**1.** Из материалов германий, кремний, закись меди, селен относятся к полупроводникам:

- 1) германий, кремний;
- 2) все; **/верный ответ/**
- 3) германий, селен;
- 4) кремний, закись меди;
- 5) германий, селен, закись меди.

**2.** Основным носителем электрического заряда полупроводников являются:

- 1) молекулы;
- 2) ядро атома;
- 3) дырки;
- 4) электроны **/верный ответ/;**
- 5) атомы.

**3.** Полупроводниковые диоды в зависимости от исходного материала бывают:

- 1) германиевые;
- 2) кремневые, германиевые;
- 3) германиевые, селеновые, кремневые;
- 4) германиевые, селеновые, медно-закисные;
- 5) германиевые, кремневые, селеновые, медно-закисные **/верный ответ/.**

**4.** Назначением кремневых стабилитронов является:

- 1) выпрямление переменного тока промышленной частоты;
- 2) детектирование;
- 3) генерирование электромагнитных колебаний;
- 4) стабилизация постоянного напряжения **/верный ответ/;**
- 5) усиление электрических сигналов.

**5. Какой полупроводник называется собственным?**

- 1) Полупроводник, имеющий поликристаллическую структуру.
- 2) Полупроводник, имеющий монокристаллическую структуру.
- 3) Полупроводник, не содержащий донорных и акцепторных примесей **/верный ответ/.**
- 4) Любой полупроводник.

**6. Как изменяется удельное электрическое сопротивление собственных полупроводников с ростом температуры?**

- С ростом температуры удельное электрическое сопротивление растёт.
- С ростом температуры удельное электрическое сопротивление уменьшается **/верный ответ/.**

- Удельное электрическое сопротивление собственных полупроводников от температуры не зависит.

**7. Где располагается уровень Ферми в собственном полупроводнике?**

- Вблизи валентной зоны.
- Вблизи середины запрещенной зоны **/верный ответ/**
- Вблизи зоны проводимости.

**8. Какой полупроводник называется примесным?**

- Смесь нескольких различных полупроводников.
- Сплав кремния и германия.
- Полупроводник, содержащий в небольшой концентрации примесь с валентностью, отличной от валентности основного вещества **/верный ответ/**
- Механическая смесь частиц металла и диэлектрика.

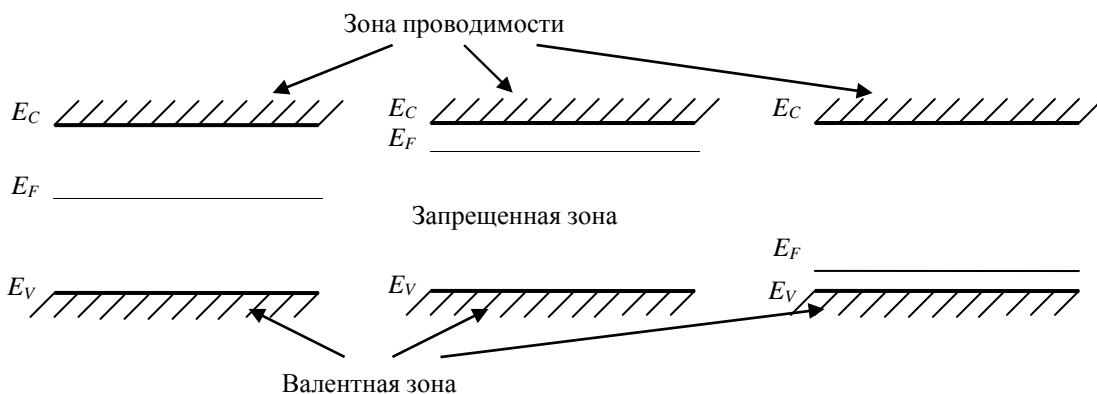
**9. Примеси какой валентности обеспечивают получение полупроводников *n*-типа?**

- Трехвалентные (In, Ga).
- Четырехвалентные (C, Sn).
- С валентностью большей, чем у исходного материала (As, Sb) **/верный ответ/**.
- С валентностью меньшей, чем у исходного материала.

**10. Где располагается уровень Ферми у примесных полупроводников *n*-типа?**

- Посредине запрещенной зоны.
- В валентной зоне.
- В зоне проводимости.
- Вблизи валентной зоны.
- Вблизи зоны проводимости **/верный ответ/**.

**11. Укажите энергетическую диаграмму примесного полупроводника *p*-типа.**



**12. Что такое диффузия носителей тока в полупроводнике?**

- Движение носителей за счет электрического поля.
- Хаотическое тепловое движение носителей.
- Движение носителей за счет разности их концентраций **/верный ответ/**.

**5. Что такое дрейф носителей тока в полупроводнике?**

- Движение носителей за счет электрического поля **/верный ответ/**.
- Хаотическое тепловое движение.
- Движение за счет разности концентраций.

**6. Что такое инжекция носителей заряда?**

- Явление обеднения неосновными носителями тока области полупроводника под действием электрического поля.

- Явление обогащения неосновными носителями тока области полупроводника под действием электрического поля **/верный ответ/**.
- Явление обеднения основными носителями тока области полупроводника под действием электрического поля.
- Явление обогащения основными носителями тока области полупроводника под действием электрического поля.

#### 7. Неравновесная функция распределения показывает

- Распределение носителей тока по энергетическим состояниям под действием тепловой энергии.
- Распределение носителей тока по энергетическим состояниям под действием внешних воздействий, например, электрического поля **/верный ответ/**.

#### 8. Сильными называются электрические поля в полупроводниках, когда его проводимость

- Зависит от величины электрического поля **/верный ответ/**.
- Не зависит от величины электрического поля.
- Нет правильного ответа.

#### 9. ЭДС Холла $V_x$ определяется формулой

- $V_x = R \frac{B}{ld}$ .
- $V_x = R \frac{I}{Bd}$ .
- $V_x = I \frac{B}{Rd}$ .
- $V_x = R \frac{IB}{d}$ , где  $R$  - постоянная Холла,  $I$  - ток в полупроводнике,  $B$  - индукция магнитного поля

и  $d$  - размеры полупроводника **/верный ответ/**.

#### 10. Эффект Зеебека состоит в том, что

- В электрической цепи, состоящей из двух проводников, выделяется или поглощается дополнительное тепло, если контакты проводников поддерживаются при разных температурах.
- В электрической цепи, состоящей из двух проводников, создается термоЭДС, если контакты проводников поддерживаются при разных температурах **/верный ответ/**.
- В электрической цепи, состоящей из двух проводников, выделяется или поглощается дополнительное тепло, если в цепи течет электрический ток.

#### 11. Эффект Пельтье состоит в том, что

- В электрической цепи, состоящей из двух проводников, выделяется или поглощается дополнительное тепло, если контакты проводников поддерживаются при разных температурах.
- В электрической цепи, состоящей из двух проводников, создается термоЭДС, если контакты проводников поддерживаются при разных температурах.
- В электрической цепи, состоящей из двух проводников, выделяется или поглощается дополнительное тепло, если в цепи течет электрический ток **/верный ответ/**.

### Тест 2

На каждый вопрос предлагаются варианты ответов, один из которых верный.

1. Из материалов германий, кремний, закись меди, селен относятся к полупроводникам:
  - германий, кремний;
  - все **/верный ответ/**;
  - германий, селен;
  - кремний, закись меди;
  - германий, селен, закись меди.

2. Основным носителем электрического заряда полупроводников являются:

- молекулы;
- ядро атома;
- дырки;
- электроны **/верный ответ/**;
- атомы.

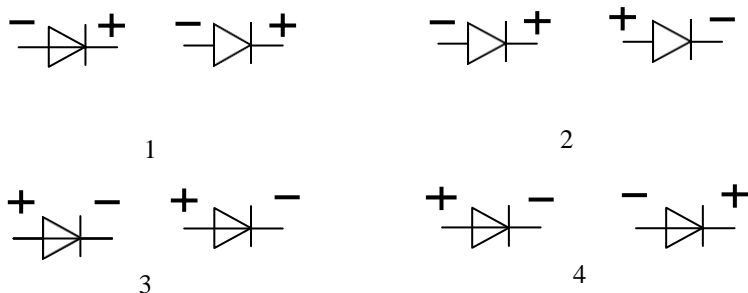
3. Полупроводниковые диоды в зависимости от исходного материала бывают:

- германиевые;
- кремневые, германиевые;
- германиевые, селеновые, кремневые;
- германиевые, селеновые, медно-закисные;
- германиевые, кремневые, селеновые, медно-закисные **/верный ответ/**.

4. Назначением кремневых стабилитронов является:

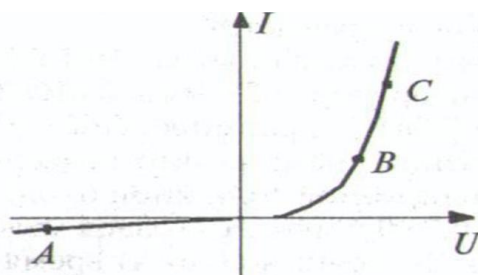
- выпрямление переменного тока промышленной частоты;
- детектирование;
- генерирование электромагнитных колебаний;
- стабилизация постоянного напряжения **/верный ответ/**;
- усиление электрических сигналов.

5. Показать полярности напряжений для прямого и обратного включения полупроводникового диода.



1. Как соотносятся (больше, меньше) статические сопротивления полупроводникового диода в точках А, В, С? Точка А на обратной, точки В, С на прямой ветвях ВАХ диода:

- $R_{ст.А} > R_{ст.В} < I$
- $R_{ст.С} < R_{ст.А} < I$
- $R_{ст.А} > R_{ст.В} > I$



1. Выпрямительные диоды

- Постоянного тока в переменное напряжение;
- Переменного сопротивления в постоянное;
- Постоянного напряжения в переменное напряжение;
- Переменного тока в постоянное напряжение **/верный ответ/**.

2. В основе выпрямительного диода лежит:

- **p-n** переход **/верный ответ/**;
- Два **p-n** перехода;
- Переход проводник-диэлектрик;
- Полупроводник с дырочной электропроводностью;
- Полупроводник с электронной проводимостью.

3. Полупроводниковые стабилитроны предназначены для:
- преобразования переменного напряжения в постоянное напряжение;
  - выпрямления постоянного напряжения в переменное напряжение;
  - для стабилизации тока;
  - для стабилизации  $U_{вх.}$ ;
  - для стабилизации  $U_{вых.}$  **/верный ответ/**.
4. Принцип стабилизации стабилитрона:
- При большом изменении тока напряжение на стабилитроне меняется незначительно;
  - При небольшом изменении тока напряжение на стабилитроне меняется незначительно;
  - При увеличении входного напряжения  $U_{вх}$  напряжение на стабилитроне  $U_{вых}$  меняется незначительно **/верный ответ/**;
  - Сопротивление стабилитрона меняется скачкообразно;
  - Сопротивление стабилитрона уменьшается с повышением температуры.
5. Рабочим участком стабилитрона на вольтамперной характеристике (ВАХ) является:
- Прямая ветвь ВАХ **/верный ответ/**;
  - Обратная ветвь ВАХ;
  - Прямая и обратная ветви ВАХ;
6. Рабочим участком стабилитрона на вольтамперной характеристике (ВАХ) является:
- Участок на прямой ветви ВАХ;
  - Участок на обратной ветви ВАХ **/верный ответ/**;
  - Обратная ветвь ВАХ;
  - Прямая ветвь ВАХ;
  - Прямая и обратная ветви ВАХ.
7. Какое физическое явление лежит в основе работы стабилитрона?
- Туннельный пробой  $p-n$ -перехода **/верный ответ/**;
  - Лавинный пробой  $p-n$ -перехода **/верный ответ/**;
  - Тепловой пробой  $p-n$ -перехода;
  - Электрический пробой  $p-n$ -перехода?
8. ВАХ туннельного диода характеризуется:
- Наличием участка положительного дифференциального сопротивления;
  - Наличием участка отрицательного диффер. сопротивления **/верный ответ/**;
  - Отсутствием участка отрицательного дифференциального сопротивления;
  - Участком гистерезиса;
  - Правильный ответ отсутствует.
9. Какие носители заряда создают ток при прямом смещении  $p-n$ -перехода?
- Дырки;
  - Электроны;
  - Основные **/верный ответ/**;
  - Неосновные?
10. Каково соотношение между прямым  $R_{пр}$  и обратным  $R_{обр}$  сопротивлениями у выпрямительного диода:
- $R_{пр} < R_{обр}$ ;
  - $R_{пр} \ll R_{обр}$  **/верный ответ/**;
  - $R_{пр} > R_{обр}$ ;
  - $R_{пр} \gg R_{обр}$ ;
  - $R_{пр} = R_{обр}$ ;
11. Какое свойство перехода используется в выпрямительных диодах?
- Односторонняя проводимость **/верный ответ/**;

- Барьерная емкость;
- Тепловой пробой;
- Электрический пробой;
- Туннельный эффект

12. Каким типом проводимости обладают полупроводниковые материалы без примесей?

- 1) ионной;
- 2) в основном электронной;
- 3) в основном дырочной;
- 4) в равной степени электронной и дырочной **/верный ответ/**

13. Как изменится сила кулоновского взаимодействия двух точечных зарядов, если расстояние между ними:

- увеличится в 2 раза?
- уменьшится в 2 раза;
- увеличится в 4 раза;
- уменьшится в 4 раза **/верный ответ/**.

**Рейтинг – план дисциплины**  
**«Полупроводниковая электроника»**

(название дисциплины согласно рабочему учебному плану)

направление 03.03.03 Радиофизика, направленность (профиль) «Цифровые технологии обработки информации»  
курс 4, семестр 2, 2018/2019 учебный год.

Количество часов по учебному плану 72, в т.ч. контактная работа 34, самостоятельная работа (включая подготовку к экзамену) 36, ФКР-2.

Преподаватели:

лекции и практические занятия: Бахтизин Рауф Загидович, д.ф.-м.н., профессор.

Кафедра: физической электроники и нанофизики

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Минимальный	Максимальный
<b>Модуль 1 «Полупроводниковые кристаллы»</b>				
<b>Текущий контроль</b>				
Тест 1	4	5	0	20
<b>Рубежный контроль</b>				
1. Контрольная работа №1 (задачи)	5	3	0	15
<b>ВСЕГО ПО МОДУЛЮ 1</b>			<b>0</b>	<b>35</b>
<b>Модуль 2 «Неравновесные явления в полупроводниках»</b>				
<b>Текущий контроль</b>				
<b>3. Контрольная работа №2 (задачи)</b>	5	4	0	20
<b>Рубежный контроль</b>				
<b>1. Тест 2</b>	3	5	0	15
<b>ВСЕГО ПО МОДУЛЮ 2</b>			<b>0</b>	<b>35</b>
<b>Поощрительные баллы</b>				
Участие в олимпиадах по электронике (баллы за задачи)			0	10
<b>Итого поощрительных баллов</b>			<b>0</b>	<b>10</b>

Посещаемость (баллы вычитаются из общей суммы набранных баллов)				
1. Посещение лекционных занятий			<b>0</b>	<b>-6</b>
2. Посещение практических занятий			<b>0</b>	<b>-10</b>
Итоговый контроль				
<b>Экзамен</b>	9 (вопрос билета)	2 вопроса	Макс. 18 б.	<b>30</b>
	3 (доп. вопрос)	2	Макс. 6 б.	
	6 (задача)	1	Макс. 6 б.	

Утверждено на заседании кафедры физической электроники и нанофизики

Протокол № 1 от «30» августа 2018 г.

Зав. кафедрой



/Бахтизин Р.З. /

Преподаватели



/ Бахтизин Р.З. /