

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Карякин Андрей Виссарионович  
Должность: Руководитель НТИ НИЯУ МИФИ  
Дата подписания: 16.01.2025 10:27:12  
Уникальный программный ключ:  
2e905c9a64921ebc9b6e02a1d35ea14517858874

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**Новоуральский технологический институт**—  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
(НТИ НИЯУ МИФИ)

**Колледж НТИ**

Цикловая методическая комиссия общетехнических дисциплин энергетики и  
электроники

---

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ  
ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
ОП.05 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ,  
ЭЛЕКТРОРАДИОМАТЕРИАЛЫ И РАДИОКОМПОНЕНТЫ**

для студентов колледжа НТИ НИЯУ МИФИ,  
обучающихся по программе среднего профессионального образования

специальность 11.02.16

«Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и  
устройств»

очная форма обучения

на базе основного общего образования

квалификация

специалист по электронным приборам и устройствам

Новоуральск 2021

ОДОБРЕНО:

на заседании цикловой методической комиссии общетехнических дисциплин, энергетики и электроники

Протокол № 03 от 08.11.2021

Председатель ЦМК ОТДЭиЭ



А.Н.Стародубцева

Разработана на основе Федерального государственного образовательного стандарта, утвержден Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 04.10.2021 № 691, зарегистрирован Министерством юстиции России 12.11.2021 № 65793, с учетом основной образовательной программы, в соответствии с действующим учебным планом, компетентностной моделью выпускника по специальности по специальности 11.02.16 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств.

Методические указания к проведению практических занятий по учебной дисциплине ОП.05 «Материаловедение, электрорадиоматериалы и компоненты» по специальности 11.02.16 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств – Новоуральск: Изд-во колледжа НТИ НИЯУ МИФИ, 2021. – 56с.

Разработчик: Горлова С.А., преподаватель цикловой методической комиссии естественнонаучных и социально-гуманитарных дисциплин

## Содержание

Введение.....	4
Практическая работа №1 Определение твердости металлов: по Бринеллю, по Роквеллу, по Виккерсу.....	6
Практическая работа №2 Исследование структуры железоуглеродистых сплавов, находящихся в равновесном состоянии.....	9
Практическая работа №3 Расшифровка различных марок сталей и чугунов.....	14
Практическая работа №4 Выполнение сравнительного анализа материалов с малым удельным сопротивлением .....	21
Практическая работа №5 Выполнение сравнительного анализа материалов с высоким сопротивлением .....	22
Практическая работа №6 Выполнение сравнительного анализа жаростойких и благородных материалов .....	23
Практическая работа №7 Изучение основных характеристик полупроводниковых материалов .....	25
Практическая работа №8 Изучение свойств и характеристик твердых диэлектриков.....	26
Практическая работа №9 Исследование резисторов .....	27
Практическая работа №10 Исследование полупроводниковых диодов.....	47
Учебно-методическое и информационное обеспечение.....	54

## Введение

Методические рекомендации предназначены для организации практической работы студентов по учебной дисциплине ОП.05 «Материаловедение, электрорадиоматериалы и радиокомпоненты», обучающихся по специальности 11.02.16 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств.

Главная задача методических рекомендаций – помочь студентам освоить некоторые теоретические вопросы и выполнить практические задания по учебной дисциплине.

Методические рекомендации облегчают подготовку к выполнению практических работ, а также обращают внимание обучающихся на главное, существенное в изучаемой учебной дисциплине, помогают выработать умения, анализировать ситуацию, связывать теорию с практикой.

Целью данного методического указания является активизация профессионального самоопределения студентов в процессе выполнения практических и самостоятельных работ.

Задачами методического указания являются:

- дать студентам необходимые знания для повседневной и творческой деятельности;
- подготовить студентов к работе на производстве;
- научить их пользоваться технической литературой и справочниками.

В результате изучения предмета студенты должны знать:

- общую классификацию материалов по составу, свойствам и техническому назначению;
- основные механические, химические и электрические свойства применяемых в электронной технике материалов;
- сверхпроводящие металлы и сплавы;
- магнитные материалы;
- электрорадиоэлементы и радиокомпоненты общего назначения;
- параметры и характеристики типовых радиокомпонентов, механически, электрически и физически регулируемых компонентов (элементарные цепи): конденсаторов, резисторов, катушек индуктивности, трансформаторов;
- физическую природу электропроводности металлов, сплавов, полупроводников, диэлектриков и композиционных материалов

Освоив основные положения курса, студент должен уметь:

– выбирать материалы на основе анализа их свойств для конкретного применения в радиоэлектронных устройствах;

– подбирать по справочным материалам радиокомпоненты для электронных устройств.

**Объем учебной дисциплины ОП.05 «Материаловедение, электрорадиоматериалы и радиокомпоненты» и виды учебной работы**

<b>Вид учебной работы</b>	<b>Объем часов</b>
<b>Суммарная учебная нагрузка во взаимодействии с преподавателем</b>	44
<i>Самостоятельная работа</i>	10
<b>Объем образовательной программы</b>	
в том числе:	
теоретическое обучение	24
практические занятия	10
<b>Промежуточная аттестация проводится в форме дифференцированного зачета</b>	

## Практическая работа №1

### Тема: Твёрдость металлов

**Цель:** Изучение основных методов определения твёрдости металлов.

**Оборудование:** пресс Роквелла, образцы сталей и сплавов.

#### Ход работы:

1. Систематизация знаний обучающихся по теме «Металлы и их свойства»;
2. Зарисовать схемы определения твёрдости металлов методами Бринелля, Роквелла, Виккерса (рис.1);
3. Изучить принцип действия прессы Роквелла, научиться определять твёрдость металлов вдавливанием стального шарика; 4. Защита работы, ответ на контрольные вопросы.

#### 1. Общие сведения

**Твёрдость** — это свойство металла оказывать сопротивление проникновению в него другого, более твердого тела, не получающего остаточных деформаций.

Твёрдость тесно связана с такими важными характеристиками металлов и сплавов, как прочность, износостойчивость.

Есть несколько методов определения твердости (рисунок 1.1), наиболее широкое распространение получили следующие:

- вдавливание шарика из твердой стали (метод Бринелля);
- вдавливание вершины алмазного конуса или стального шарика (метод Роквелла);
- вдавливание вершины алмазной пирамиды (метод Виккерса).

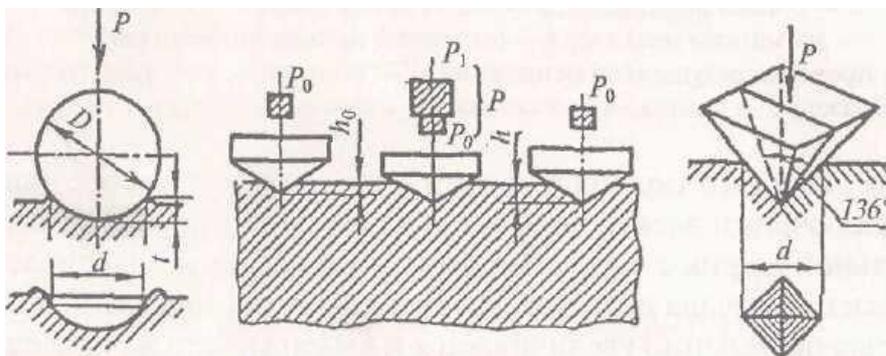


Рисунок 1.1- Определение твердости металлов методами: Бринелля (а), Роквелла (б), Виккерса (в)

**Метод Бринелля** заключается в том, что шарик из закаленной стали под действием нагрузки вдавливается в зачищенную поверхность металла.

Испытание на твердость металла по методу Бринелля проводят на приборе ТБ (рисунок 1.2). Стальной шарик закрепляется в шпинделе прибора. Испытуемый образец ставят на предметный столик, который подводят к шпинделю вращением маховика. При включении электродвигателя наложенный груз опускается и стальной шарик с помощью рычажной системы вдавливается в образец. Сначала вдавливание производится медленно, затем нагрузка постепенно увеличивается и выдерживается определенное время для получения четких границ отпечатка.

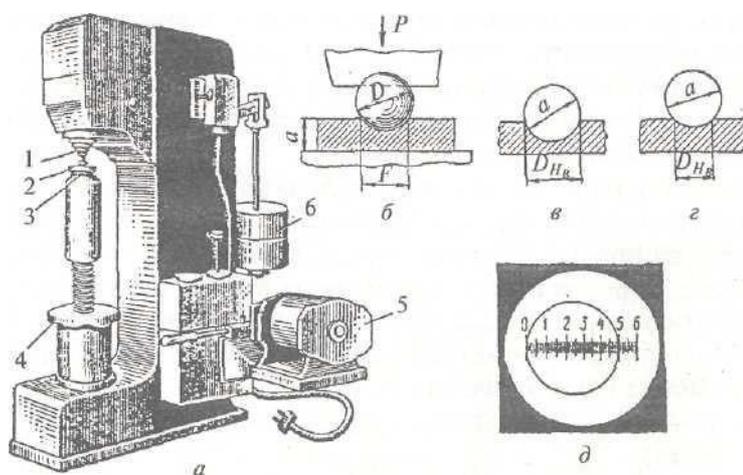


Рисунок 1.2 - Определение твердости металла по Бринеллю

*a* — общий вид пресса; *б* — схема испытания; *в* — отпечаток на мягком металле; *г* — отпечаток на твердом металле; *д* — проверка результатов испытания; 1 — шпиндель; 2 — испытуемый образец; 3 — столик; 4 — маховик; 5 — электродвигатель; 6 — груз

Испытуемый образец снимают со столика и измеряют диаметр полученного отпечатка (лунки) при помощи специальной лупы со встроенной шкалой (цена деления 0,1 мм).

Твердость по Бринеллю обозначается буквами **HB** и определяется как отношение нагрузки  $P$  (кг), приходящейся на 1 мм<sup>2</sup> сферической поверхности отпечатка  $F$ , по формуле

$$HB = \frac{P}{F}, \text{ кг/мм}^2.$$

**Метод Роквелла** отличается от метода Бринелля тем, что измеряется не диаметр отпечатка (лунки), а его глубина. Чем больше глубина вдавливания, тем меньше твердость испытуемого образца (рис. 1.3).

Алмазный конус (или стальной шарик) вдавливается в испытуемый образец под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок — предварительной нагрузки, равной 10 кг, а

затем полной (предварительная плюс основная) нагрузки 60 кг (шкала А) или 150 кг (шкала С).

На приборе *ТР* величину вдавливания определяют непосредственно по шкалам *Л*, *В* и *С* циферблата индикатора (без измерения отпечатка и математических расчетов).

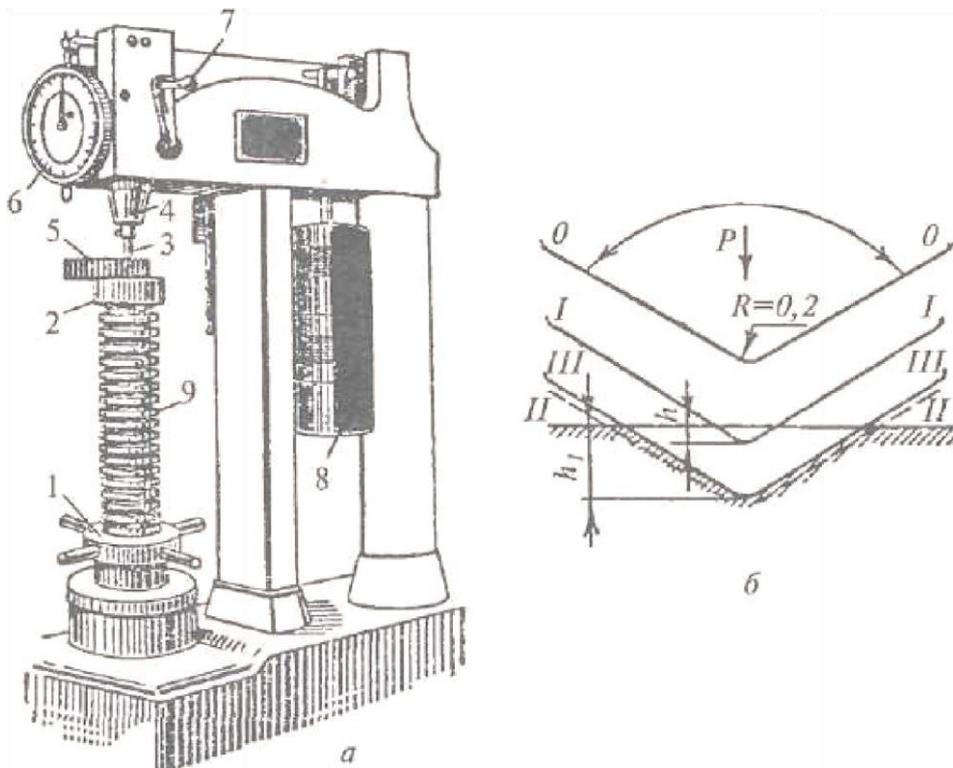


Рисунок 1.3- Определение твердости металла по Роквеллу

*a*— прибор *ТР*; *б*— схема испытания вдавливанием алмазного конуса; 1 — маховик; 2 — столик; 3 — алмазный конус; 4 — шпindelь; 5 — испытуемый образец; 6 — индикатор, показывающий величину вдавливания; 7 — ручка; 8 - грузы; 9 — подъемный винт;

I-I — углубление конуса под действием предварительной нагрузки,

II—II — углубление конуса под действием полной нагрузки,

III—III — углубление конуса при уменьшении полной нагрузки до значения предварительной нагрузки

При измерении твердости стандартной нагрузкой **150 кг** значение твердости *HR* отсчитывается по шкале **С** индикатора, к обозначению твердости добавляется индекс шкалы, т. е. **HR<sub>С</sub>**.

При измерении твердости тонких образцов или поверхностного слоя металла со стандартной нагрузкой **60 кг** отсчет ведется по шкале **А**; к обозначению твердости добавляется индекс данной шкалы, т. е. **HR<sub>А</sub>**.

При измерении твердости мягких металлов стальным шариком со стандартной нагрузкой **100 кг** отсчет ведется по **шкале В** и к обозначению твердости добавляется индекс данной шкалы, т. е. **HR<sub>B</sub>**.

**Метод Виккерса** применяется для испытания металлов и сплавов высокой твердости, деталей малых сечений и твердых поверхностных слоев, полученных химикотермической обработкой (цементированных, азотированных и др.).

Этот метод дает очень точные показатели и применим к металлам любой твердости. Преимуществом метода Виккерса является возможность испытания тонкого поверхностного слоя металла после различных видов обработки.

Твердость металла определяется отношением нагрузки  $P$  в кг, создаваемой прибором, к площади отпечатка  $F_B$  мм<sup>2</sup>, вычисленной по его диагонали, и обозначается **HV**.

## 2. Выводы, оформление отчёта

### 3. Контрольные вопросы

1. Дайте определение твёрдости металлов;
2. Перечислите основные методы определения твёрдости;
3. Что замеряется при определении твёрдости методом Бринелля диаметр или глубина отпечатка?
4. Опишите методику определения твёрдости на прессе Роквелла;
5. Чем отличается метод Роквелла от метода Бринелля?
6. В чём преимущество метода Роквелла от остальных методов?

## Практическая работа №2

**Тема: Исследование структуры железоуглеродистых сплавов, находящихся в равновесном состоянии**

**Цель работы:** Изучить диаграмму состояния железоуглеродистых сплавов. Разобраться с превращениями, происходящими в железоуглеродистых сплавах при медленном охлаждении и нагреве.

**Материалы:** Диаграмма состояния системы Fe – Fe<sub>3</sub>C.

### 1. Основные положения

Диаграмма железоуглеродистых сплавов может быть представлена в двух вариантах: метастабильном, отражающем превращения в системе “железо-карбид железа”, и стабильном, отражающем превращения в системе “железо-графит”. Наибольшее практическое значение имеет диаграмма состояния “железо-карбид железа”, т.к. для большинства технических сплавов превращения реализуются по этой диаграмме.

Карбид железа ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) называют *цементитом*, поэтому метастабильную диаграмму железоуглеродистых сплавов называют диаграммой состояния “железоцементит” ( $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ ).

## 1.1 Компоненты и фазы в железоуглеродистых сплавах

*Основными компонентами* железоуглеродистых сплавов являются **железо** и **углерод**, которые относятся к полиморфным элементам. В железоуглеродистых сплавах эти элементы взаимодействуют, образуя различные фазы.

Под *фазой* в общем смысле понимается однородная часть системы, имеющая одинаковый химический состав, физические свойства и отделенная от других частей системы поверхностью раздела.

Взаимодействие железа и углерода состоит в том, что углерод может растворяться как в жидком (расплавленном) железе, так и в различных его модификациях в твердом состоянии. Помимо этого он может образовывать с железом химическое соединение. Таким образом, в железоуглеродистых сплавах могут образовываться следующие *фазы*: **жидкий раствор, аустенит, феррит, цементит**.

**Аустенит** (обозначают А или  $\gamma$ ) – твердый раствор внедрения углерода в  $\text{Fe}_\gamma$ . Имеет ГЦК – решетку, растворяет углерода до 2,14 %, немагнитен, твердость (НВ 160-200).

**Феррит** (обозначают Ф или  $\alpha$ ) – твердый раствор внедрения углерода в  $\text{Fe}_\alpha$ . Имеет ОЦК – решетку, растворяет углерода до 0,02 % (727 °С), при 20 °С менее 0,006 %, ферромагнитен до температуры 769 °С, твердость (НВ 80-100).

**Цементит** (Ц) – химическое соединение железа с углеродом ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Содержит 6,67 % С. При нормальных условиях цементит тверд (НВ 800) и хрупок. Слабо ферромагнитен до 210 °С.

## 1.2 Превращения в железоуглеродистых сплавах

Диаграмма состояния  $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$  (рис. 4.1) показывает фазовый состав и превращения в сплавах с концентрацией от чистого железа до цементита. Превращения в железоуглеродистых сплавах происходит как при кристаллизации (затвердевании) жидкой фазы (Ж), так и в твердом состоянии.

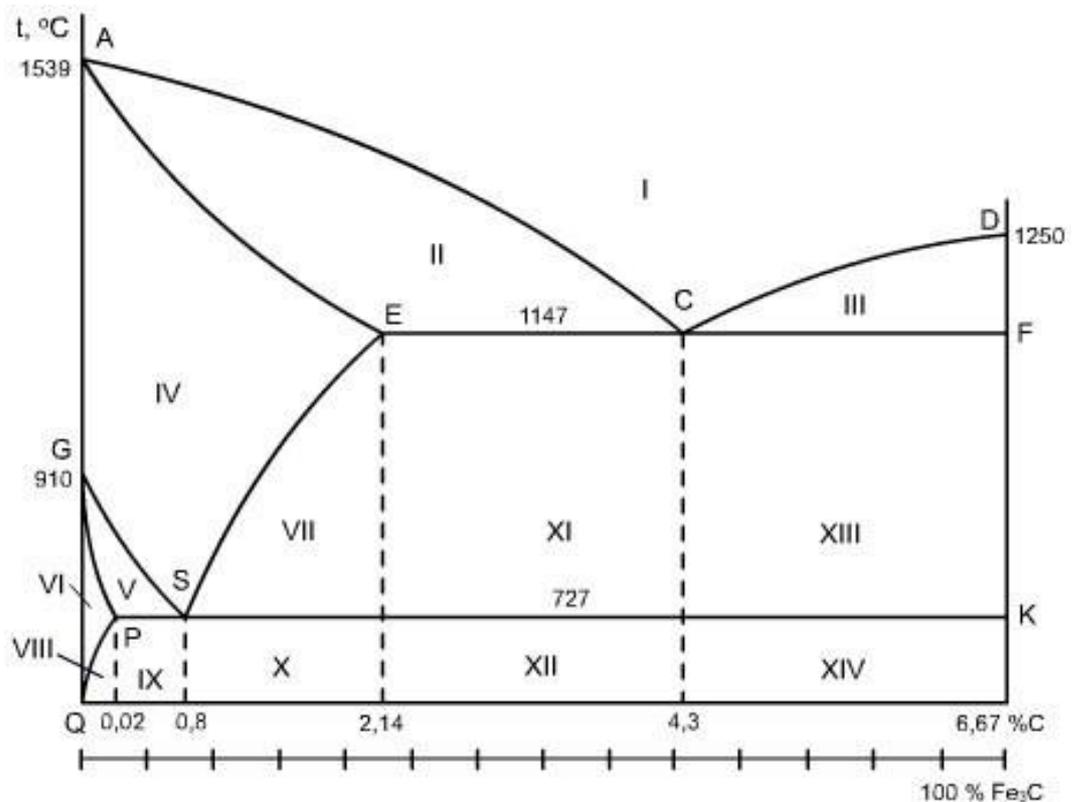


Рисунок 4.1- Диаграмма состояния Fe – Fe<sub>3</sub>C (в упрощенном виде).

*Первичная кристаллизация* идет в интервале температур, ограниченных линиями **ликвидус** (ACD) и **солидус** (AECF).

*Вторичная кристаллизация* происходит за счет превращения железа одной аллотропической модификации в другую и за счет изменения растворимости углерода в аустените и феррите, которая уменьшается с понижением температуры. Избыток углерода выделяется из твердых растворов в виде цементита. В сплавах системы Fe-Fe<sub>3</sub>C происходят следующие изотермические превращения:

*Эвтектическое превращение* на линии ECF (1147 °C) (*Эвтектикой* называют равномерную мелкодисперсную механическую смесь двух фаз, которые одновременно кристаллизуются из жидкого сплава.)

$J_C > (A_E + C_F)$ ; *Эвтектоидное превращение* на линии PSK (727 °C) (*Эвтектоид* - это механическая смесь двух фаз, образующаяся из твердого раствора.)



Эвтектическая смесь аустенита и цементита называется **ледебуритом** (Л), а эвтектоидная смесь феррита и цементита – **перлитом** (П).

**Ледебурит** содержит 4,3 % углерода. При охлаждении ледебурита ниже линий PSK входящий в него аустенит превращается в перлит и при нормальной температуре ледебурит представляет собой смесь перлита и цементита и называется ледебуритом превращенным (Л пр). Цементит в этой структурной составляющей образует сплошную матрицу, в которой размещены колонии перлита. Такое строение ледебурита объясняет его большую твердость (HB 700) и хрупкость.

Перлит содержит 0,8 % углерода. В зависимости от формы частичек цементит бывает пластинчатый и зернистый. Является прочной структурной составляющей с твердостью (HB210).

### 1.3 Линии диаграммы состояния Fe – Fe<sub>3</sub>C

Линии диаграммы представляют собой совокупность критических точек сплавов с различным составом, характеризующих превращения в этих сплавах при соответствующих температурах.

Рассмотрим значение линий диаграммы при медленном охлаждении.

ACD – линия ликвидус. Выше этой линии все сплавы находятся в жидком состоянии.

AECF – линия солидус. Ниже этой линии все сплавы находятся в твердом состоянии.

AC – из жидкого раствора выпадают кристаллы аустенита.

CD – линия выделения первичного цементита.

AE – заканчивается кристаллизация аустенита.

ECF – линия эвтектического превращения.

GS – определяет температуру начала выделения феррита из аустенита (910-727 °C).

GP – определяет температуру окончания выделения феррита из аустенита.

PSK – линия эвтектоидного превращения.

ES – линия выделения вторичного цементита. PQ – линия выделения третичного цементита.

### 1.4 Области диаграммы состояния Fe – Fe<sub>3</sub>C

Линии диаграммы делят все поле диаграммы на области равновесного существования фаз. Каждой области диаграммы соответствует определенное структурное состояние, сформированное в результате происходящих в сплавах превращений.

I – Жидкий раствор (Ж).

II – Жидкий раствор (Ж) и кристаллы аустенита (А).

III – Жидкий раствор (Ж) и кристаллы цементита первичного (Ц<sub>I</sub>).

IV – Кристаллы аустенита (А).

V – Кристаллы аустенита (А) и феррита (Ф).

VI – Кристаллы феррита (Ф).

VII – Кристаллы аустенита (А) и цементита вторичного (Ц<sub>II</sub>).

VIII – Кристаллы феррита (Ф) и цементита третичного (Ц<sub>III</sub>).

IX – Кристаллы феррита (Ф) и перлита (П).

X – Кристаллы перлита (П) и цементита вторичного (Ц<sub>II</sub>).

XI – Кристаллы аустенита (А), ледебурита (Л) и цементита вторичного (Ц<sub>II</sub>). XII – Кристаллы перлита (П), цементита вторичного (Ц<sub>II</sub>) и ледебурита превращенного (Л пр).

XIII – Кристаллы ледебурита и цементита первичного (Ц<sub>I</sub>).

XIV – Кристаллы цементита первичного (Ц<sub>I</sub>) перлита (П) и ледебурита превращенного (Л пр).

## 2. Оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Диаграмма состояния Fe – Fe<sub>3</sub>C с обозначением фаз и структурных составляющих по всем областям диаграммы.
4. Характеристика линий и структурных составляющих железоуглеродистых сплавов.
5. Подробное описание изменений структуры при медленном охлаждении контрольного сплава, который выбирают, согласно своего варианта по таблице 4.1. (Фрагмент диаграммы с контрольным сплавом рис. 4.2).
6. Выводы.
7. Ответы на контрольные вопросы.

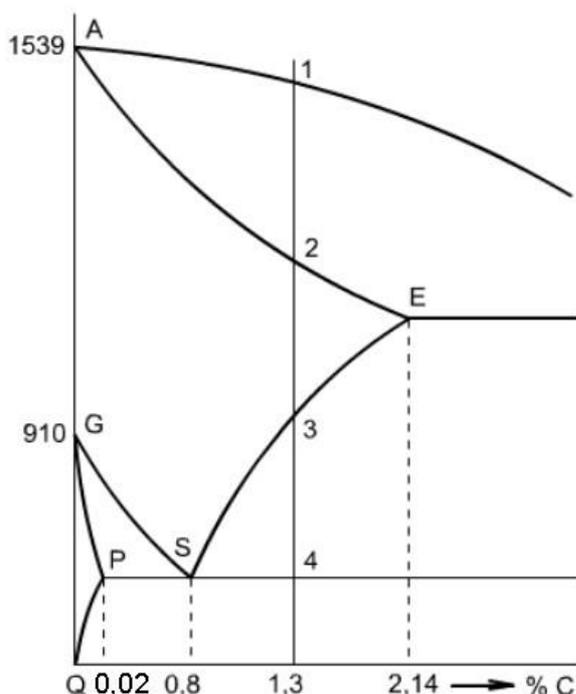


Рисунок- 4.2- Фрагмент диаграммы состояния Fe – Fe<sub>3</sub>C с нанесенной ординатой состава сплава, содержащего 1,3 % C.

### 3. Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что такое фаза?
2. Что такое аустенит?
3. Что такое феррит?
4. Что такое цементит?
5. Какими линиями диаграммы ограничивается температурный интервал первичной кристаллизации?
6. В чем состоит сущность эвтектического превращения?
7. В чем состоит сущность эвтектоидного превращения?
8. Что такое ледебурит?
9. Что такое перлит?
10. На какой линии происходят эвтектические превращения?
11. На какой линии происходят эвтектоидные превращения?

12. Линия выделения первичного цементита?
13. Линия выделения вторичного цементита?
14. Линия выделения третичного цементита?
15. Назовите фазы железоуглеродистых сплавов.
16. Максимальное растворение углерода в Fe? 17. Максимальное растворение углерода в Fe?
18. Содержание углерода в цементите?
19. При какой температуре происходит эвтектическое превращение?
20. При какой температуре происходит эвтектоидное превращение?

#### 4. Варианты контрольных сплавов

Таблица 4.1- Содержание углерода в сплаве по вариантам

№ п/п	% С	№ п/п	% С	№ п/п	% С
1	0,2	11	5,1	21	1,2
2	1,1	12	2,8	22	3,5
3	3,0	13	1,1	23	4,3
4	4,3	14	0,45	24	5,5
5	5,0	15	1,7	25	0,15
6	0,02	16	1,0	26	0,8
7	0,35	17	4,5	27	0,9
8	0,8	18	2,7	28	2,4
9	1,3	19	0,7	29	4,7
10	2,5	20	0,4	30	1,2

### Практическая работа №3

#### Тема: Классификация и маркировка сталей и чугунов

*Цель работы:* изучение классификации, состава и маркировки сталей и чугунов.

##### 1. Введение

В различных отраслях промышленного производства наибольшее применение получили чёрные металлические сплавы - стали и чугуны.

*Сталь* - сплав железа (основа) с углеродом (до 2,14%), всегда содержит в определенных количествах постоянные примеси: марганец, кремний, серу, фосфор и газы (кислород, азот, водород).

*Чугун* - сплав железа с углеродом (более 2,14% до 6,67%). Чугун также содержит постоянные примеси и газы.

И в стали, и в чугуны вводят различные легирующие элементы с целью повышения механических характеристик и получения специальных свойств.

## 2. Классификация и маркировка сталей

### 2.1 Стали классифицируют по следующим признакам:

- химическому составу,
- способу производства,
- качеству,
- степени раскисления,
- назначению и структуре.

**По химическому составу** различают стали *углеродистые и легированные*.

Сталь, содержащая железо, углерод и постоянные примеси в количестве до 0,50,8%Mn; 0,3-0,4%Si (содержание серы и фосфора определяются качеством стали) называется *углеродистой*.

Если же в процессе выплавки стали к ней добавляют легирующие элементы - хром, никель, ванадий и др., а также марганец и кремний в повышенном количестве по сравнению с углеродистой, то такую сталь называют *легированной*.

*Углеродистые стали* по содержанию в них углерода подразделяют на низкоуглеродистые (до 0,3 % C), среднеуглеродистые (0,3 - 0,7%С) и высокоуглеродистые (более 0,7 % C).

Легированные стали в зависимости от наличия в них легирующих элементов называют хромистыми, кремнистыми, хромоникелевыми и т.п., а в зависимости от общего содержания легирующих элементов подразделяют на низколегированные - до 3 %, среднелегированные от 3 до 10 % и высоколегированные - более 10 %.

**По способу производства** различают стали *мартеновские* (выплавка в мартеновских печах) – переработка чугуна, металлического лома и отходов металлургического производства; *бессемеровские* (конвертерные) – выплавляемые в конверторах с продувкой кислородом, однородны по составу, имеют низкое содержание азота, серы и фосфора; *электростали*, выплавляемые в электрических печах, по качеству превосходят все остальные виды и, наконец, *стали особых методов выплавки* (индукционный нагрев, магнитное перемешивание и т.д.).

**По качеству** стали классифицируют на обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особо высококачественные.

Критерием качества стали является, главным образом, содержание вредных примесей - серы и фосфора. Стали обыкновенного качества содержат до 0,060 % S и 0,070 % P, качественные - до 0,040 % S и 0,035 % P, высококачественные - не более 0,025 % S и 0,025 % P, а особо высококачественные - не более 0,015 % S и 0,025 % P.

Необходимо отметить, что углеродистые стали могут быть обыкновенного качества и качественные, а легированные только качественные или высококачественные (особо высококачественные).

**По степени раскисления** стали делят на спокойные (сп) - полностью раскисленные ферромарганцем, феррокремнием и алюминием; кипящие (кп) - частично раскисленные только ферромарганцем, в ней сохраняется много окиси железа, которая взаимодействует с углеродом, выделяя газ СО (пузырьки газа создают впечатление “кипения”); полуспокойные (пс) – раскисленные ферромарганцем и алюминием – промежуточное положение между кипящей и спокойной сталями. Степень раскисления стали указывается в конце обозначения марки, например, Ст3кп, БСт2пс, ВСт1сп.

**По назначению** стали подразделяют на конструкционные (для изготовления деталей машин и конструкций), инструментальные (для различного рода инструмента) и специальные стали с особыми свойствами (с коэффициентом расширения, магнитные и др.).

## 2.2 Маркировка сталей

Для сталей в России принята буквенно-цифровая маркировка. Цифры и буквы указывают на приблизительный состав стали.

**1. Углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества** в соответствии с ГОСТ380-88 поставляют трех групп:

- группа А - с гарантируемыми структурой и механическими свойствами ( $\sigma_B, \sigma_T, \delta$ );
- группа Б - с гарантируемым химическим составом, допускается наличие хрома, никеля, меди в количестве не более 0,30 % каждого элемента;
- группа В - с гарантируемыми механическими свойствами и химическим составом.

Маркируют стали обыкновенного качества буквами Ст и условным номером от 0 до 6.

Если сталь относится к группе А, то обозначение группы в марке не указывают: Ст0, Ст1, Ст2...Ст6.

Если сталь относится к группе Б, то в начале марки ставят букву "Б": БСт0, БСт1 ... БСт6.

Стали группы В маркируют: ВСт1, ВСт2 ... ВСт5.

Стали всех групп с номером марок 1 - 4 производят кипящими, полуспокойными и спокойными, а с номерами 5 и 6 - только полуспокойными и спокойными.

Стали обыкновенного качества используют для изготовления листов, полос, прокатных профилей, труб, а также для деталей в мостостроении и судостроении.

**2. Углеродистые качественные конструкционные стали** (ГОСТ1050-88) обозначают двузначным числом, показывающим среднее содержание углерода в стали в сотых долях процента.

Например, стали марок 08, 20, 45 содержат в среднем соответственно 0,08%; 0,20%; 0,45% углерода.

Из них может быть изготовлена большая номенклатура деталей от шайб, втулок, шестерён, шпинделей, шатунов до деталей, работающих в условиях трения (рессоры и пружины).

**3. Углеродистые качественные инструментальные стали** (ГОСТ1435-90) маркируют следующим образом:

впереди ставят букву У, за ней цифру (от 7 до 13), указывающую среднее

содержание углерода в десятых долях процента. Например, сталь марки У9 содержит в среднем 0,9 % С; У12 - 1,2 % С и т.д.

Для высококачественных углеродистых инструментальных сталей в конце обозначения марки стали ставят букву А. Например, У7А, У13А.

Из этих сталей может быть изготовлен режущий инструмент – резцы, напильники и др., работающий с небольшими скоростями резания, а также штампы для холодного деформирования для обработки малопрочных материалов.

**4. Легированные конструкционные стали (ГОСТ 4543-71)** маркируют двухзначным числом, показывающим среднее содержание углерода в сотых долях процента, далее следуют буквы и цифры.

Буквы обозначают легирующие элементы (например, Б – ниобий, В – вольфрам, Г – марганец, Д – медь, К – кобальт, М – молибден, Н – никель, Р – бор, С – кремний, Т – титан, Ф – ванадий, Х – хром, Ю – алюминий). Цифры после букв показывают примерное содержание соответствующего легирующего элемента в целых процентах. Если цифра после буквы отсутствует, это означает, что содержание данного легирующего элемента в стали составляет примерно 1 %. Для высококачественных сталей в конце обозначения марки ставят букву А. Например, сталь марки 12Х2Н4А содержит в среднем 0,12 % С, 2 % Cr, 4 % Ni и является высококачественной.

Конструкционные легированные стали широко применяются в автомобильной промышленности, строительстве и тяжёлом машиностроении для деталей машины механизмов, работающих в условиях сложного нагружения под действием статических, динамических и знакопеременных нагрузок.

**5. Легированные инструментальные стали (ГОСТ 5950-73)** маркируют однозначным числом, показывающим среднее содержание углерода в десятых долях процента, далее следуют буквы и цифры.

Принцип обозначения легирующих элементов и их содержание в этих сталях аналогичен с маркировкой конструкционных. Если же сталь начинается с буквы (кроме буквы У), то в стали около 1 % С. Например, сталь марки 9ХС содержит в среднем 0,9 % С, 1 % Cr, 1 % Si; сталь марки ХВГ содержит 1 % С, 1 % Cr, 1 % W, 1 % Mn.

Инструментальные легированные стали применяют для изготовления всех видов инструментов: режущего (резцы, развёртки, протяжки), штампованного (штампы для холодного и горячего деформирования), измерительного (калибры, меры, шаблоны).

**6. Специальные стали** это высоколегированные стали, в которых содержание легирующих элементов более 10 %, обладающие особыми свойствами, например, коррозионностойкие стали (ГОСТ 5632-72), обладающие высокой химической стойкостью в агрессивных средах. В состав коррозионностойкой стали обязательно входят хром и никель, причём содержание хрома должно быть более 12 %, а маркировка сохраняет принципы маркировки легированных сталей: сталь марки 17Х18Н9 содержит 0,17 % С, 18 % Cr, 9 % Ni.

Эти стали применяют для изготовления клапанов гидропрессов, лопаток турбин, карбюраторных игл и других деталей машин, подвергающихся действию атмосферных осадков, воды, водных растворов солей и других агрессивных сред при комнатной температуре или до 400<sup>0</sup> С.

Некоторые специальные стали имеют маркировку, отличающуюся от вышеизложенных правил:

- *углеродистые автоматные стали* (ГОСТ 1414-75) с повышенным содержанием серы и фосфора, а иногда с добавлением небольшого количества Pb, Ca, Mn и др.,

обладающие хорошей обрабатываемостью резанием, применяют для изготовления деталей на металлорежущих станках-автоматах. Автоматные стали маркируют буквой А и цифрами, указывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента; например, А12 - автоматная сталь с содержанием углерода в среднем 0,12%;

- *шарикоподшипниковые стали* (ГОСТ 801-83) применяют для изготовления подшипников качения и других деталей, работающих в условиях трения, должны обладать высокой контактной прочностью и износостойкостью, содержат около 1 % С с обязательным наличием хрома (0,4-1,9 %). Шарикоподшипниковые стали маркируются буквой “Ш”, далее буква “Х” – хром, содержание которого указывается в десятых долях процента. Из этих сталей изготавливают шарики и ролики подшипников, подшипниковые кольца, корпуса и направляющие;

- *быстрорежущие стали* (ГОСТ 19265-73) применяют для изготовления режущего инструмента (резцы, свёрла, фрезы и т.д.), работающего при высоких скоростях резания. Марки этих сталей обозначают русской буквой Р (rapid - быстрый), а следующая за ней цифра указывает среднее содержание основного легирующего элемента вольфрама в процентах. Например, Р18 - быстрорежущая сталь, содержащая около 1 % С и 18 % W, а также 4 % Cr и около 2,5 % V, но это не внесено в марку;

- *стали, применяемые для получения отливок* (ГОСТ 977-88), имеют в своем обозначении букву Л. Например, 15Л - сталь для отливок, содержащая в среднем 0,15 % С. Из этих сталей отливают втулки, шестерни и т.д.

### 3. Классификация и маркировка чугунов

Как уже отмечалось выше, по сравнению со сталью, чугун имеет более высокое содержание углерода (практически от 2 до 4 %). Углерод в чугуне может находиться в двух состояниях: в связанном - в виде химического соединения  $Fe_3C$ , которое называется цементит, либо в свободном - в виде графита.

В зависимости от состояния углерода в чугуне различают:

- *белый чугун*, в котором весь углерод находится в связанном состоянии. Название он получил по цвету излома. Имеет высокую твердость, хрупкость, практически не поддается обработке резанием и поэтому не нашел применения в качестве конструкционного материала и используется для передела в сталь и ковкий чугун;

- *серый чугун*, в котором весь углерод или его большая часть находится в свободном состоянии в виде графита пластинчатой формы, а остальная часть - в связанном состоянии в виде карбида железа  $Fe_3C$ . В изломе имеет темно-серый цвет. Серый чугун маркируется (ГОСТ 1412-85) буквами СЧ с добавлением цифры, которая указывает предел прочности чугуна при растяжении ( $\sigma_B$ ). Например, СЧ20 - серый чугун, имеющий  $\sigma_B = 200 \text{ МПа}$  или  $20 \text{ кгс/мм}^2$ .

Серый чугун широко применяется в машиностроении как конструкционный материал для изготовления станин станков, тормозных барабанов, поршневых колец и т.д.;

- *ковкий чугун*, в котором весь углерод или его большая часть находится в свободном состоянии в виде графита хлопьевидной формы. Ковкий чугун маркируют (ГОСТ 1215-59) буквами КЧ и двумя числами. Первое обозначает предел прочности при растяжении ( $\sigma_B$ ) в  $\text{кг/мм}^2$ , второе - относительное удлинение ( $\delta$ ), %. Например, КЧ35-10 - ковкий чугун, имеющий  $\sigma_B = 350 \text{ МПа}$  ( $35 \text{ кгс/мм}^2$ ) и  $\delta = 10\%$ ;

Ковкие чугуны имеют более высокие характеристики пластичности по сравнению с другими чугунами (но это не значит, что его можно ковать). Применяется ковкий чугун для изготовления деталей, работающих при средних и высоких статических нагрузках (картеры автомобиля, ступицы, кронштейны, муфты и т.д.);

- *высокопрочный чугун*, в котором весь углерод или его большая часть находится в свободном состоянии в виде графита шаровидной формы. Имеет самые высокие прочностные свойства по сравнению с другими чугунами. Применяется для деталей машин, работающих в тяжелых условиях (в тяжёлом машиностроении – шабот молота, траверс пресса, прокатные валки и т.д.). Высокопрочный чугун маркируется (ГОСТ 7293-85) буквами ВЧ и цифрами, обозначающими предел прочности чугуна при растяжении ( $\sigma_B$ ), например, ВЧ50 - высокопрочный чугун, имеющий  $\sigma_B = 500 \text{ МПа}$  ( $50 \text{ кгс/мм}^2$ ).

#### 4. Порядок выполнения работы

1. Получить от преподавателя индивидуальное задание по классификации и маркировке сталей и чугунов (табл. 6.1).
2. Расшифровать обозначение каждой марки стали и чугуна.  
Указать, какой является сталь по содержанию углерода (низко-, средне- или высокоуглеродистой), по степени легированности (низко-, средне- или высоколегированной), качеству, назначению.
3. Представить преподавателю оформленный отчет по работе и ответить на контрольные вопросы.

#### 4.1 Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Краткое описание системы классификации и маркировки сталей и чугунов.
3. Результаты выполнения задания.

#### 5. Контрольные вопросы

1. Что такое сталь, чугун и их характеристики?
2. Как классифицируются стали по химическому составу?
3. Как классифицируются стали по содержанию углерода?
4. Как классифицируются стали по степени легированности?
5. Как можно подразделить стали по назначению?
6. Как классифицируются стали по способу производства, степени раскисления?
7. Как маркируются углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества, качественные и высококачественные стали?
8. Как маркируются углеродистые инструментальные стали?
9. Что такое легированная сталь?
10. Как маркируются легированные стали?
11. Что такое белый, серый, высокопрочный и ковкий чугуны, их характеристики, назначение?

12. Как маркируются серые, высокопрочные и ковкие чугуны?
13. В чём заключается основное отличие структуры белых и серых чугунов, причины этого отличия?

Таблица 6.1- Варианты индивидуальных занятий

№ варианта	Марки сплавов для изучения					
1	Ст0;	08кп;	09Г2;	У7;	СЧ10;	40ХЛ;
2	Ст1пс;	10;	09Г2С;	У7А;	15Л;	СЧ15;
3	Ст2кп;	15;	30ХГТ;	У8;	20Л;	СЧ20;
4	Ст3;	20;	12Х2Н4А;	У8А;	25Л;	СЧ25;
5	БСт1кп;	25;	25ХГМ;	У9;	30Л;	СЧ30;
6	БСт2пс;	30;	40ХН;	У9А;	35Л;	СЧ35;
7	БСт3;	35;	38ХМА;	У10;	40Л;	ВЧ40;
8	Ст5;	40;	20Х;	У10А;	ВЧ45;	35ГЛ;
9	Ст6;	45;	12ХН3А;	У12;	ВЧ50;	40ХЛ;
10	БСт3кп;	55;	38ХГН;	У12А;	ВЧ60;	КЧ60-3;
11	ВСт4сп;	60;	30ХГСА;	Р9;	20Х13;	КЧ30-6;
12	БСт5пс;	09Г2;	У7;	12Х18Н9Т;	40Л;	КЧ63-2;
13	ВСт5сп;	14Г2;	ШХ15;	У13;	35Л;	КЧ50-4;
14	БСт6пс;	15ГФ;	ШХ20СГ;	У13А;	30Л;	КЧ45-6;
15	ВСт6;	17ГС;	ШХ15СГ;	Х12М;	12Х13;	КЧ35-10;
16	БСт4;	35ГС;	40ХФА;	ХВГ;	25Л;	КЧ33-8;
17	ВСт1сп;	09Г2С;	50ХФА;	Р18;	СЧ30;	35ГЛ;
18	Ст2пс;	25Г2С;	65;	30Х13;	У13А;	КЧ60-3;
19	Ст4кп;	15Х;	18ХГТ;	60Г;	У13;	КЧ63-2;
20	БСт2кп;	20Х;	15Г;	9ХС;	20Х13;	КЧ50-4;
21	БСт3;	30Х;	70;	50ХФА;	Р9;	КЧ45-6;
22	БСт6пс;	35Х;	60Г;	08Х17Т;	ХВГ;	КЧ35-10;
23	ВСт5сп;	38ХА;	75;	У12;	СЧ10;	40ХЛ;
24	БСт5пс;	40Х;	ШХ15СГ;	70;	08Х18Н10;	КЧ30-6;
25	ВСт4сп;	40Г;	30ХМ;	У10;	40Л;	ВЧ60;
26	БСт3кп;	35ГС;	55С2;	У9А;	12Х18Н9Т;	ВЧ50;
27	Ст6;	60С2;	У9;	Х12Ф1;	25Л;	ВЧ45;
28	Ст5;	09Г2;	12ХН3А;	У9;	35Л;	ВЧ40

## Практическая работа №4

### Тема «Выполнение сравнительного анализа материалов с малым удельным сопротивлением»

#### 1. Цель работы:

Изучить основные характеристики проводниковых материалов с малым удельным сопротивлением.

#### Ход работы

1. Изучите учебник Л.В.Журавлева «Электроматериаловедение» (глава 3 «Проводниковые материалы»)
2. Ответить письменно на вопросы:
  - 1) Определите материал, обладающий лучшими электрическими свойствами.
  - 2) Укажите область применения данных проводниковых материалов:
    - проводниковая медь;
    - алюминий;
    - серебро;
    - вольфрам.
  - 3) Сравните твердую и мягкую медь:
    - по свойствам;
    - по применению;
    - по термообработке;
    - по маркировке.
3. Заполните таблицу и сделайте сравнительный анализ материалов по электрическим и механическим характеристикам.

Таблица 1- Основные характеристики проводниковых материалов.

Характеристика	Проводниковая медь	Алюминий	Серебро	Вольфрам
Плотность, кг/м <sup>3</sup>				
Температура плавления, °С				
Температурный коэффициент удельного электрического сопротивления, 1/°С				
Разрушающее напряжение при растяжении, Н/ м <sup>2</sup>				
Относительное удлинение, %				
Удельное электрическое сопротивление, Ом · м				

4. Сделайте вывод по данной работе.

## Практическая работа №5

**Тема: Выполнение сравнительного анализа материалов с высоким сопротивлением**

### Цель работы:

Изучить характеристики проводниковых материалов с высоким сопротивлением.

### Ход работы

1. Изучите учебник Л.В.Журавлева «Электроматериаловедение» (глава 3 «Проводниковые материалы»)
2. Ответить письменно на вопросы:
  - 1) Что относят к проводниковым материалам с высоким сопротивлением? Определите материал данной группы, обладающий наилучшими свойствами, как проводник.
  - 2) Укажите сплав, применяемый для термопар.
  - 3) Опишите состав каждого сплава и укажите область применения данных материалов:
    - манганин;
    - константан;
    - нихром.
3. Заполните таблицу и сделайте сравнительный анализ материалов по электрическим и механическим характеристикам.

Таблица 1- Основные характеристики проводниковых материалов .

Характеристика	Манганин	Константан	Нихром
Состав , %			
Плотность, кг/м <sup>3</sup>			
Температура плавления, °С			
Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР), 1/°С			
Разрушающее напряжение при растяжении, Н/ м <sup>2</sup>			
Относительное удлинение, %			
Удельное электрическое сопротивление, Ом · м			

4. Сделайте вывод по данной работе.

## Практическая работа № 6

**Тема: Выполнение сравнительного анализа жаростойких и благородных материалов**

**Цель работы:** Изучить основные характеристики жаростойких и благородных проводниковых материалов.

### Ход работы:

1. Изучите учебник Л.В.Журавлева «Электроматериаловедение» (глава 3 «Проводниковые материалы»)
2. Ответить письменно на вопросы:
  - 1) Что относят к проводниковым жаростойким сплавам?
  - 2) Укажите состав и область применения данных материалов:
    - нихром;
    - фехраль;
    - хромаль.
  - 3) Какие благородные металлы относятся к проводниковым?
  - 4) Укажите область применения данных материалов:
    - серебро;
    - золото;
    - платина;
    - палладий.
3. Заполните таблицы 1 и 2 и сделайте сравнительный анализ материалов по электрическим и механическим характеристикам.

Таблица 1- Основные характеристики жаростойких сплавов

Характеристика	Нихром	Фехраль	Хромаль
Состав, %			
Плотность, кг/м <sup>3</sup>			
Допустимая температура, °С			
Температурный коэффициент удельного электрического сопротивления, 1/°С			
Удельное электрическое сопротивление, Ом · м			

Таблица 2- Основные характеристики благородных проводниковых материалов

Характеристика	Серебро	Золото	Платина	Палладий
Плотность, кг/м <sup>3</sup>				
Температура плавления, °С				

Температурный коэффициент удельного электрического сопротивления, $1/^\circ\text{C}$				
Разрушающее напряжение при растяжении, $\text{H}/\text{M}^2$				
Относительное удлинение, %				
Удельное электрическое сопротивление, $\text{Om}\cdot\text{M}$				

4. Сделайте вывод по данной работе.

## Практическая работа № 7

**Тема:** «Изучение основных характеристик полупроводниковых материалов»

**Цель работы:** Изучить характеристики полупроводниковых материалов

**Ход работы:**

1. Изучите учебник Л.В.Журавлева «Электроматериаловедение» (глава 4 «Полупроводниковые материалы»)
2. Ответить письменно на вопросы:
  - 1) Какие материалы называются полупроводниковыми?
  - 2) Почему различают простые и сложные полупроводники?
  - 3) Описать основные характеристики и область применения данных материалов:
    - германий;
    - кремний;
    - селен;
    - теллур.
3. Изучите, объясните и изобразите графическую зависимость электропроводности полупроводников от температуры.
4. В системе координат изобразите графические зависимости тока и сопротивления полупроводника от приложенного напряжения ( $I, R$  от  $U$ ).
5. Заполните таблицу 1- основные характеристики полупроводниковых материалов.

Таблица 1- Основные характеристики полупроводниковых материалов.

Характеристика	Германий	Кремний	Селен	Теллур
Плотность, кг/м <sup>3</sup>				
Температура плавления, °С				
Диэлектрическая проницаемость				
Удельное электрическое сопротивление, Ом · м				

6. Сделайте вывод по данной работе.

## Практическая работа № 8

**Тема: «Изучение свойств и характеристик твердых диэлектриков» Цель работы:**

Изучить основные характеристики твердых диэлектриков

**Ход работы:**

1. Изучите учебник Л.В.Журавлева «Электроматериаловедение» (глава 5 «Диэлектрические материалы»)
2. Ответьте письменно на вопросы:
  - 1) Что называется диэлектриком?
  - 2) Как классифицируют диэлектрики?
  - 3) Основные свойства диэлектриков.
  - 4) Дайте определение твердым диэлектрикам.
  - 5) Укажите область применения перечисленных диэлектрических материалов:
    - полимеры;
    - пластические массы;
    - слоистые пластмассы;
    - электрокерамические материалы и т.д.
  - 6) Укажите, что понимается под керамикой?
  - 7) Классификация керамических материалов, их основные свойства и область применения в электротехнике.
  - 8) Укажите основные свойства и область применения ситаллов.
  - 9) Изучив основные характеристики твердых диэлектрических материалов, определите самый устойчивый к изменению характеристик материал.
3. Заполнить таблицу 1- основные характеристики диэлектрических материалов.

Таблица 1- Основные характеристики диэлектрических материалов.

Характеристика	Поливинилхлорид	Текстолит	Гетинакс	Слюда	Фарфор	Бумага
Плотность, кг/м <sup>3</sup>						
Температура плавления, °С						
Предел прочности при растяжении, Н/м <sup>2</sup>						
Удельное эл. сопротивление, Ом · м						
Диэлектрическая проницаемость						
Электрическая прочность, МВ/м						
Тангенс угла диэлектрических потерь						

## Практическая работа 9 Исследование резисторов

### 1 Теоретическая часть работы

#### 1.1 Классификация, основные параметры, обозначение резисторов

Резистор (англ. resistor, от лат. resisto — сопротивляюсь) является одним из самых распространенных радиоэлементов. Резисторы составляют до 35 % общего количества элементов в схемах современной радиоэлектронной аппаратуры. Они используются в качестве нагрузочных и токоограничительных элементов, добавочных сопротивлений и шунтов, делителей напряжения. Резисторы обеспечивают режимы работы усилительных и генераторных приборов и позволяют погасить излишек питающего напряжения. Различные типы резисторов приведены на рисунке 1.

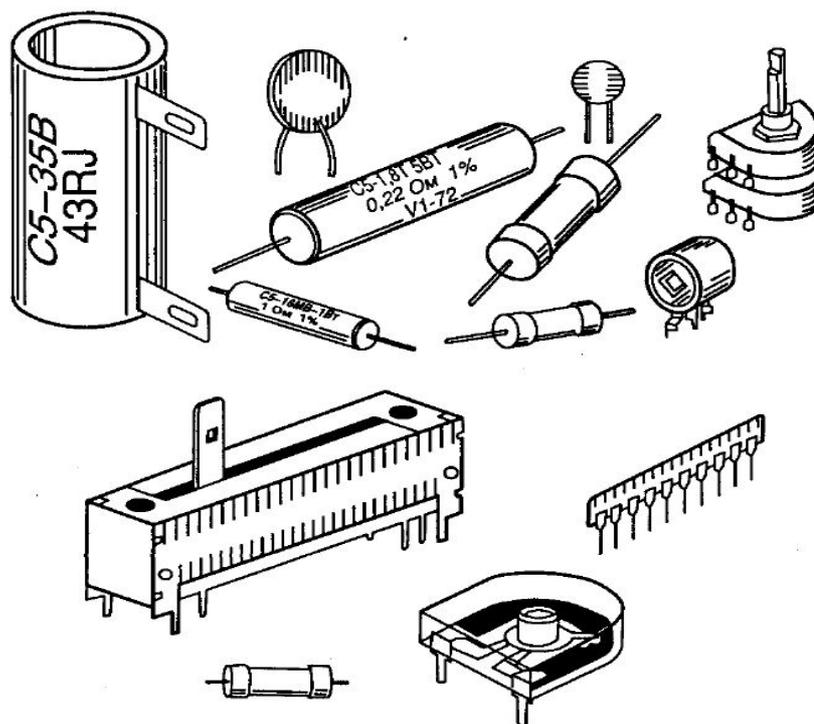


Рисунок 1 – Типы резисторов

### 1.1.1 Классификация резисторов

В зависимости от назначения различают постоянные и переменные резисторы. Постоянные и переменные резисторы приведены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Классификация резисторов по назначению

Наибольшее распространение имеют постоянные резисторы общего назначения, которые используются практически во всех видах радиоаппаратуры и блоках питания. Номинальные значения таких резисторов находятся в пределах от 1 Ом до 10 МОм, а номинальные мощности составляют от 0,125 до 100 Вт. Класс точности резисторов общего назначения составляет 2, 5, 10 или 20 % номинала.

Кроме того, применяются постоянные резисторы специального назначения. К ним относятся, например, прецизионные (особо точные)

резисторы, которые используются в основном в измерительных приборах в качестве шунтов. Допуск этих резисторов составляет от  $\pm 0,001$  до 1 %. Они отличаются высокой стабильностью.

Высокочастотные резисторы также являются резисторами специального назначения. Они отличаются низкой собственной индуктивностью и предназначены для работы в высокочастотных узлах. Кроме того, имеются и другие виды постоянных резисторов.

Переменные резисторы подразделяются на подстроечные и регулировочные. Подстроечные резисторы впаиваются в схему, и при наладке их сопротивление подстраивается с помощью регулятора. На лицевую панель радиоаппаратуры регуляторы подстроечных резисторов не выводятся.

Износоустойчивость подстроечных резисторов составляет до 1000 циклов.

Регуляторы регулировочных резисторов выводятся на лицевую панель. Они служат для регулировки параметров в процессе эксплуатации. Такие резисторы обеспечивают до 5000 циклов перестройки.

По виду зависимости номинального сопротивления регулировочного резистора от смещения его подвижной системы различают резисторы с пропорциональным и непропорциональным (нелинейным) законами регулирования сопротивления.

Резисторы классифицируются также по материалу резистивного элемента. Классификация резисторов по материалу резистивного элемента приведена на рисунке 3.



Рисунок 3 - Классификация резисторов по материалу резистивного элемента

## 1.1.2 Основные параметры резисторов

1) Номинальная мощность рассеяния  $P_{\text{ном}}$  — мощность, которую резистор может рассеивать при непрерывной нагрузке, номинальных давлении и температуре. В радиоэлектронной аппаратуре чаще всего используются непроволочные резисторы с номинальными мощностями 0,125; 0,25; 0,5; 1 и 2 Вт. Мощность резистора определяется по формуле

$$P = U^2/R, \quad (1)$$

где  $U$  — напряжение на резисторе, В;

$R$  — сопротивление резистора, Ом.

С учетом возможного повышения температуры резисторы выбирают с номинальной мощностью на 20...30 % больше расчетной. Численное значение мощности обычно входит в обозначение резистора, например МЛТ-1, где  $P_{\text{ном}} = 1$  Вт. Обычно на корпусах непроволочных резисторов приводится мощность при  $P_{\text{ном}} > 2$  Вт;

2) Максимальное напряжение  $U_{\text{max}}$  — наибольшее напряжение (постоянное или действующее переменное), которое может быть приложено к токоотводам резистора с сопротивлением  $R_{\text{ном}} > U^2/P_{\text{ном}}$ ;  $U_{\text{max}}$  номинальное.

3) Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) характеризует относительное изменение сопротивления при изменении температуры на 1 °С. Если сопротивление резистора при повышении температуры возрастает, а при понижении уменьшается, то ТКС положительный, если же с повышением (уменьшением) температуры сопротивление снижается (увеличивается) — ТКС отрицательный. Температурный коэффициент сопротивления непроволочных резисторов составляет от 0,03 1/°С до 0,1 1/°С, а резисторов повышенной точности — на порядок меньше;

4) Уровень шумов резистора, который оценивается по величине  $N$  их переменной ЭДС, возникающей на его зажимах и отнесенной к 1 В приложенного к резистору напряжения постоянного тока;

5) Номинальное сопротивление — это электрическое сопротивление, обозначенное на корпусе резистора и являющееся исходным для определения его допустимых отклонений. Резисторы выпускаются с таким значением номинального сопротивления, чтобы вместе с допуском оно было приблизительно равно значению сопротивления следующего номинала минус его допуск. Установлены следующие диапазоны номинальных сопротивлений: для постоянных резисторов — от долей Ома до единиц тераОм; для переменных проволочных — от 0,47 Ом до 1 МОм; для переменных непроволочных — от 1 Ом до 10 МОм. Иногда допускается отклонение от указанных пределов.

Численные значения номинальных сопротивлений резисторов, выпускаемых отечественной промышленностью, стандартизованы (ГОСТ 2825-67).

Разница между номинальным и действительным значениями (из-за погрешностей изготовления) сопротивления, отнесенная к номинальному значению, характеризует допускаемое отклонение (допуск) от номинального сопротивления (в процентах). Допуски также стандартизованы и согласно ГОСТ 9667—74 имеют следующие значения:  $\pm 0,001$ ,  $\pm 0,002$ ,  $\pm 0,005$ ,  $\pm 0,01$ ,  $\pm 0,02$ ,  $\pm 0,05$ ,  $\pm 0,1$ ,  $\pm 0,25$ ,  $\pm 0,5$ ,  $\pm 1$ ,  $\pm 2$ ,  $\pm 5$ ,  $\pm 10$ ,  $\pm 20$  и  $\pm 30$ . Допуски указывают максимальное и минимальное значения номинального сопротивления.

Фактические значения сопротивлений могут отличаться от номинальных на величину стандартных допусков. Допуски указываются в процентах (от  $\pm 0,001$  до  $\pm 30$ ).

Допустимые отклонения сопротивления (% от номинального значения) также обозначают буквами. Обозначение буквами допустимых отклонений сопротивления указаны в таблице 1.

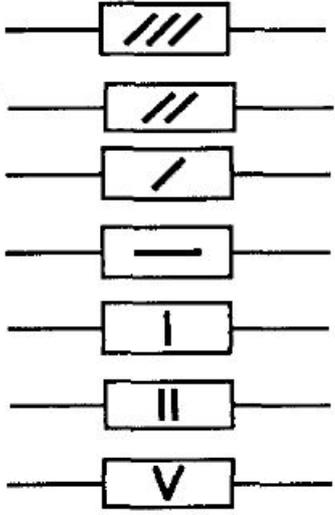
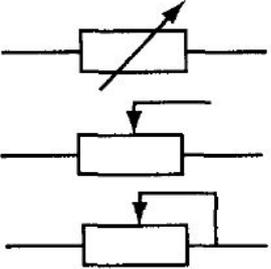
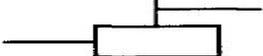
Таблица 1 - Буквенное обозначение допустимого отклонения сопротивления

Обозначение	Ж	У	Д	Р	Л	И	С	В
Допустимое отклонение, %	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 1$	$\pm 2$	$\pm 5$	$\pm 10$	$\pm 20$

### 1.1.1 Обозначение резисторов на электрических схемах

Условное обозначение резисторов на электрических схемах в зависимости от их типа приводится в таблице 2.

Таблица 2- Обозначение резисторов на электрических схемах

Тип	Обозначение
<p>Резистор постоянный с номинальной мощностью рассеяния:</p> <p>0,05 Вт</p> <p>0,125 Вт</p> <p>0,25 Вт</p> <p>0,5 Вт</p> <p>1 Вт</p> <p>2 Вт</p> <p>5 Вт</p>	
Резистор с постоянными отводами	
<p>Резистор регулируемый: Общего назначения</p> <p>С разрывом цепи</p> <p>Без разрыва цепи</p>	
Резистор подстроечный	

Резисторы с сопротивлением от 1 до 1000 Ом обозначаются на схемах целыми числами без указания единицы измерения (например, ЛЗЗ0 означает, что резистор R имеет сопротивление 330 Ом).

Сопротивление, составляющее долю или число с долями Ома, обозначается с указанием единицы измерения (например, 0,33 Ом или 3,3 Ом).

Резисторы с сопротивлением от 1 до 910 кОм обозначаются числом кОм с прибавлением буквы К (например, Л910К).

Резисторы с сопротивлением от 1 МОм и выше обозначаются без указания единицы измерения. Кроме того, если сопротивление равно целому числу, то после его численного значения ставятся запятая и нуль (например, сопротивление 1 МОм обозначается 1,0).

## 1.2 Виды соединения резисторов

В радиосхемах применяются последовательное, параллельное и комбинированное соединения резисторов.

Эквивалентное сопротивление последовательно соединенных резисторов равно сумме величин сопротивлений этих резисторов:

$$R_3 = R_1 + R_2 + \dots + R_n, \quad (2)$$

где  $R_3$ - эквивалентное сопротивление;

$R_1$  – сопротивление первого резистора, Ом;

$R_2$  – сопротивление второго резистора, Ом;

$R_n$ - сопротивление n-ого резистора

Например, если последовательно соединены два резистора с номинальными сопротивлениями 100 Ом и 1 кОм, то номинальное сопротивление эквивалентного резистора составит 1,1 кОм  $1(100 + 1000)$  Ом.

При последовательном соединении сила тока, протекающего через все соединенные резисторы, одинакова. Следовательно, суммарная мощность распределяется между резисторами пропорционально их номинальным сопротивлениям.

На рисунке 4 показана схема последовательного соединения трех резисторов.

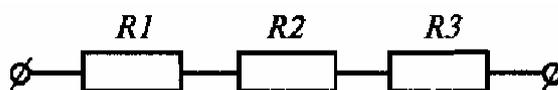


Рисунок 4- Схема последовательного соединения резисторов

При параллельном соединении на все резисторы действует одинаковое напряжение. Общая сила тока, протекающего по цепи, равна сумме сил токов, проходящих через соединенные резисторы. Поэтому эквивалентное

сопротивление будет меньше минимального номинального сопротивления и сопротивления соединенных резисторов.

Эквивалентное сопротивление, двух параллельно соединенных резисторов определяется по формуле:

$$R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (3)$$

Эквивалентное сопротивление трех и более резисторов вычисляется по формуле:

$$1/R_3 = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n \quad (4)$$

На рисунке 5 приведена схема параллельного соединения трех резисторов.

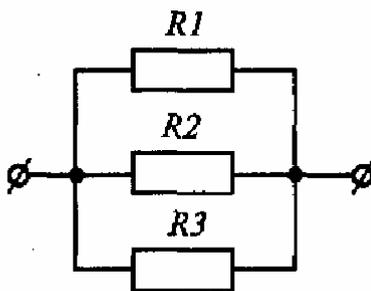


Рисунок 5 - Схема параллельного соединения резисторов

Комбинированное соединение включает в себя последовательную и параллельную схемы подсоединения резисторов. Последовательная и параллельная схемы подсоединения резисторов указаны на рисунке 6.

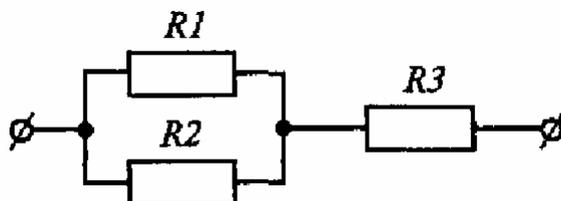


Рисунок 6 - Схема комбинированного соединения резисторов

Эквивалентное сопротивление вычисляется по формуле:

$$R_3 = (R_1 R_2) / (R_1 + R_2) + R_3. \quad (5)$$

### 1.3 Система условных обозначений и маркировка резисторов

В соответствии с ОСТ 11.074.009—78 сокращенное условное обозначение резисторов состоит из нескольких элементов.

**Первый элемент** — буква или сочетание букв — обозначает подкласс резисторов:

- Р — резисторы постоянные;
- РП — резисторы переменные;
- НР — наборы резисторов.

**Второй элемент** — цифра — обозначает группу резисторов по материалу резистивного элемента:

- 1 — непроволочные;
- 2 — проволочные и металлофольговые.

**Третий элемент** представляет собой регистрационный номер конкретного типа резистора. Между вторым и третьим элементами ставится дефис.

Так, например, Р1-22 обозначает резистор постоянный, непроволочный; НР 1-7 обозначает набор резисторов непроволочных.

До введения указанного выше стандарта использовалась система обозначений, состоящая из букв и цифр, которая была введена в 1968 году.

Буквы обозначают группу изделий:

- С — резисторы постоянные;
- СП — резисторы переменные.

Цифра после буквенного обозначения указывает на материал токопроводящего элемента:

- 1 — непроволочные тонкослойные углеродистые и бороуглеродистые;
- 2 — непроволочные тонкослойные металлодиэлектрические и металлоокисные;
- 3 — непроволочные композиционные пленочные;
- 4 — непроволочные композиционные объемные;
- 5 — проволочные;
- 6 — непроволочные тонкослойные металлизированные.

После первой цифры через дефис присоединяется вторая цифра (число), обозначающая номер разработки.

Так, например, С2-26 обозначает резистор постоянный, непроволочный, тонкослойный металлодиэлектрический, номер разработки 26.

Буква «С» означает слово «сопротивление» (прежнее название резисторов). Выпуск резисторов с такой маркировкой продолжается и в настоящее время в связи с производством аппаратуры, запущенной в серию.

Кроме того, в эксплуатации находятся резисторы с маркировкой, принятой до 1966 году:

МТ — металлизированные теплостойкие;

МЛТ — металлизированные лакированные теплостойкие;

МОН — металлооксидные низкоомные;

КИМ — композиционные изолированные малогабаритные;

УЛИ — углеродистые лакированные измерительные;

БЛП — бороуглеродистые лакированные прецизионные;

МЛП — металлизированные лакированные прецизионные;

ВС — влагостойкие углеродистые;

ПЭВ — проволочные эмалированные влагостойкие.

В условное обозначение могут также входить необходимые параметры.

Для постоянных резисторов:

1) номинальная мощность рассеяния и единица ее измерения (Вт, кВт);

2) номинальное сопротивление и единица его измерения (Ом, кОм, МОм);

3) допустимое отклонение сопротивления (допуск) в процентах;

4) группа по температурному коэффициенту сопротивления

Для переменных резисторов:

1) номинальная мощность и единица ее измерения (Вт);

2) номинальное сопротивление и единица его измерения (Ом), также допуск в процентах;

3) функциональная характеристика для непроволочных резисторов;

4) обозначение конца вала и длины его выступающей части (размер от монтажной плоскости до конца вала: ВС-1 — сплошном гладкий; ВС-2 — сплошной со шлицей; ВС-3 — сплошной с лысками; ВС-4 — сплошной с двумя лысками; ВП-1 — полый гладкий, ВП-2 — полый с лыской).

После условного обозначения указывается номер технических условий, которым соответствует резистор.

В многоэлементных переменных резисторах все элементы обозначаются в виде дроби.

Так, например, P1-33И-0.25Вт-100кОм  $\pm$  2 % А 0.467.027. ТУ обозначает постоянный непроволочный резистор с регистрационным номером 33И, номинальной мощностью рассеяния 0,25 Вт, номинальным сопротивлением 100 кОм, допуском  $\pm$ 2% и группой по уровню шумов А; документ на поставку — 0.467.027 ТУ.

На резисторы малых габаритов наносятся кодированные обозначения номинального сопротивления, состоящие из трех или четырех знаков. Буква из русского или латинского алфавита в скобках обозначает множитель, составляющий значение сопротивления, и ставится на место десятичной запятой.

Буквы Е (R), К, М, Г (G), Т обозначают соответственно множители 1, 10,  $10^3$ ,  $10^6$ ,  $10^{12}$  для значений сопротивления, выраженного в Омах.

Например: 365 Ом соответствует 365 Е (365 R); 100 кОм соответствует

100 К; 4,7 МОм соответствует 4М7; 3,3 ГОм соответствует 3Г3 (3G3).

На постоянные резисторы в соответствии с ГОСТ 17598—72 и требованиями Публикации 62 МЭК может наноситься цветная маркировка в

виде колец или полос. Цвет каждого кольца соответствует цифрам, составляющим величину номинального сопротивления или величину допуска. Пример цветной маркировки резистора с сопротивлением 47 МОм и допуском +5 % приведен на рисунке 7.

Маркировочные знаки должны быть смещены к одному из торцов резисторов и расположены слева направо в следующем порядке:

- 1-й — первая цифра;
- 2-й — вторая цифра; номинальное сопротивление;
- 3-й — множитель;
- 4-й — допуск.

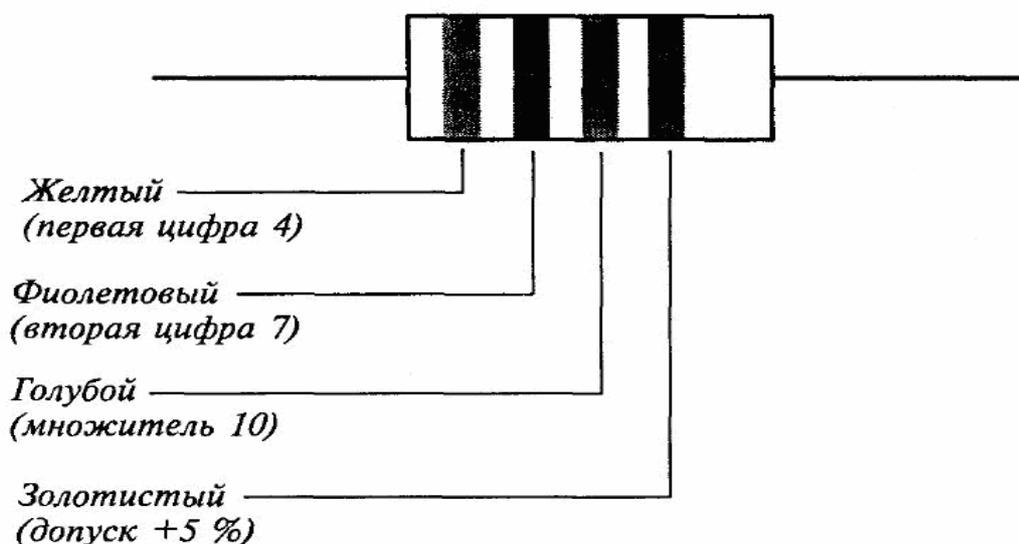


Рисунок 7 - Расположение маркировочных знаков на малогабаритных резисторах

Резисторы с номинальным сопротивлением, выраженным тремя цифрами и множителем, имеют цветную маркировку из пяти знаков. Если размеры резистора не позволяют разместить маркировку ближе к одному из торцов, площадь первого знака делается в 2 раза больше площади других знаков.

Используемые для маркировки цвета приводятся в таблице 3. Цветная маркировка облегчает труд сборщиков радиоаппаратуры в серийном производстве. В отличие от цифровой, цветная маркировка видна со всех сторон.

Таблица 3 – Цвета знаков, используемые для маркировки номинального сопротивления и допустимых отклонений

Цвет	Номинальное сопротивление, Ом				Допуск %
	Первая цифра	Вторая цифра	Третья цифра	множитель	
Серебристый	-	-	-	$10^{-2}$	$\pm 10$
Золотистый	-	-	-	$10^{-1}$	$\pm 5$
Черный	-	0	-	1	-
Коричневый	1	1	1	10	$\pm 1$
Красный	2	2	2	$10^2$	$\pm 2$
Оранжевый	3	3	3	$10^{-2}$	-
Желтый	4	4	4	$10^{-2}$	-
Зеленый	5	5	5	$10^{-2}$	$\pm 0,5$
Голубой	6	6	6	$10^{-2}$	$\pm 0,25$
Фиолетовый	7	7	7	$10^{-2}$	$\pm 0,1$
Серый	8	8	8	$10^{-2}$	$\pm 0,05$
Белый	9	9	9	$10^{-2}$	-

Цветовая маркировка резисторов приведена на рисунках 8, 9.

## Резисторы. Цветовая маркировка

Цвет полосы (точки)	1-й элемент	2-й элемент	3-й элемент	Множитель	Допуск	ТКС, %/°C
Золотой				0,01Ω	±5%	
Серебряный				0,1Ω	±10%	
Черный		0	0	1Ω	±20%	
Коричневый	1	1	1	10Ω	±1%	100
Красный	2	2	2	100Ω	±2%	50
Оранжевый	3	3	3	1kΩ		15
Желтый	4	4	4	10kΩ		25
Зеленый	5	5	5	100kΩ	±0,5%	
Голубой	6	6	6	1MΩ	±0,25%	10
Фиолетовый	7	7	7	10MΩ	±0,1%	5
Серый	8	8	8	100MΩ	±0,05%	
Белый	9	9	9			1

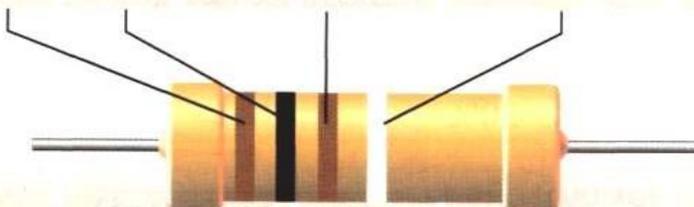
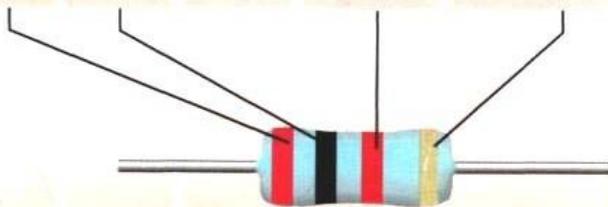
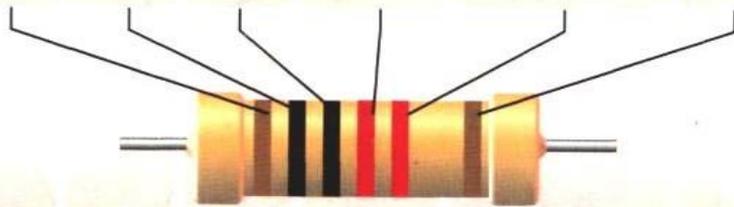
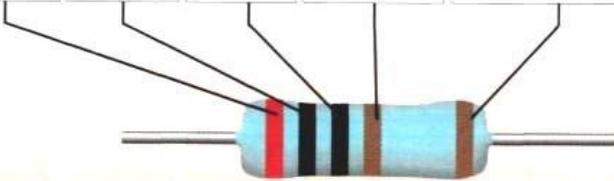
Пример  
обозначения

2 кОм ±1%

10 кОм ±2%  
100 %/°C

2 кОм ±5%

100 Ом ±10%



Резисторы проволочные. Цветовая маркировка				
Цвет полосы (точки)	1-й элемент	2-й элемент	Множитель	Допуск
Золотой				$\pm 5\%$
Серебряный			$0,1\Omega$	$\pm 10\%$
Черный		0	$1\Omega$	
Коричневый	1	1	$10\Omega$	$\pm 1\%$
Красный	2	2	$100\Omega$	$\pm 2\%$
Оранжевый	3	3	$1k\Omega$	$\pm 3\%$
Желтый	4	4	$10k\Omega$	$\pm 4\%$
Зеленый	5	5		
Голубой	6	6		
Фиолетовый	7	7		$\pm 0,1\%$
Серый	8	8		$\pm 0,05\%$
Белый	9	9		

Пример обозначения	
100 Ом $\pm 20\%$	
2,2 Ом $\pm 10\%$	
51 Ом $\pm 20\%$	
Термоустойчив (голубая полоса)	

Рисунок 9 - Цветовая маркировка резисторов

Первые одна или две полосы серебряного или белого цвета означают, что резистор – проволочный (на рисунке изображены слева).

#### 1.4 Переменные непроволочные резисторы

Промышленностью выпускаются различные типы переменных резисторов. Наибольшее распространение получили непроволочные композиционные переменные резисторы СП, состоящие из изолирующего основания, токопроводящего элемента, скользящего контакта и подвижной системы с осью. Непроволочные композиции представлены на рисунке 10.

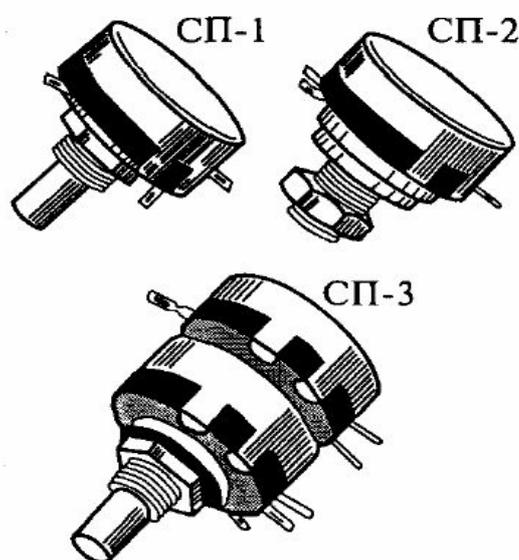


Рисунок 10 – Непроволочные переменные резисторы

Переменные резисторы имеют различные зависимости изменения

сопротивления от угла поворота подвижного контакта, показанного на рисунке 11: А — линейная; Б — логарифмическая; В — экспоненциальная; И — симметрично-обратная.

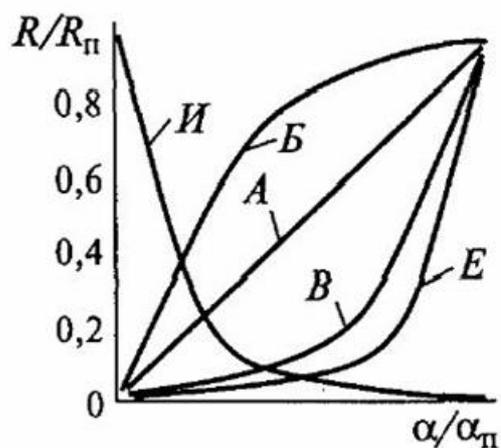


Рисунок 11 –Зависимости изменения сопротивления

Характеристики переменных резисторов:

$R$  – сопротивление между средним и левым выводами резистора;  $R_n$  – полное активное сопротивление токопроводящего элемента;

$\alpha$  - угол поворота между средним и левым выводами резистора;

$\alpha_n$  – полный угол поворота оси резистора.

Допустимые отклонения сопротивлений на переменных резисторах не указывают. Допустимое отклонение сопротивления от номинального значения для резисторов до 220 кОм составляет +20 %, а для резисторов более 220 кОм

+30%. Основные параметры непроволочных переменных резисторов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Основные параметры непроволочных резисторов

Резистор	Рабочая температура, °С	Функциональная характеристика	Номинальная мощность, Вт	Предельное номинальное сопротивление	Максимальное рабочее напряжение, В
1	2	3	4	5	6
СП-1 СП-2	От -65 до +125	А	2	470 Ом ... 4,7 МОм	500

1	2	3	4	5	6
СП-3 СП-4		Б,В	1; 05	4,7 кОм ... 2 МОм	400
СП3-1а СП3-1б	От -60 до +70	А	0,25	470 Ом ... 1 МОм	250
СП3-2а	От -60 до +70	А	0,5	470 Ом ... 4,7 МОм	300
СП3-2б		Б,В	0,25	4,7 кОм ... 2,2 МОм	200
СП3-3а	От -60 до +55	А	0,5	1 кОм ... 1МОм	50
СП3-3б		В	0,025	4,7 кОм ... 1 МОм	30
СП3-4а	От -60 до +70	А	0,25	220 Ом ... 470 кОм	150
СП3-4б		Б,В	0,125	4,7 кОм ... 2,2 МОм	100
СП3-12	От -20 до +70	А	0,25	2,2 кОм ... 2,2 МОм	-
		Б,В	0,125	4,4 кОм ... 2,2 МОм	-
		Е,И	0,125	100 кОм ... 2,2 МОм	-
СП3-23	От -45 до +75	А	0,125 0,25 0,5	220 Ом ... 2,2 МОм	100, 150, 200, 250
		Б,В,С	0.05 0.125	1 кОм ... 2,2 МОм	50, 100
		Е,И	0,25	22 кОм ... 2,2 МОм	
СП3-30а	От -45 до +70	А	0,25	2,2 кОм ... 6,8 МОм	200
СП3-30б		Б,В	0,125	4,7 кОм ... 2,2 МОм	

## 1.5 Рекомендации по применению резисторов

В процессе эксплуатации резисторы подвергаются воздействию различных внешних факторов (температуры, влажности, атмосферного давления, вибрации, одиночным и многократным ударам, акустическим шумам и др.), влияющих на их надежность, долговечность и работоспособность. Воздействие повышенной температуры и ее циклическое изменение способствуют старению проводниковых, контактных и изоляционных материалов, нарушению герметичности паяных соединений, вызывая тем самым необратимые изменения параметров резисторов. Повышение температуры и одновременное увеличение электрической нагрузки усиливают указанные выше процессы.

При работе с номинальной мощностью нагрузки сопротивление тонкослойных резисторов обычно увеличивается, а при нагрузке — уменьшается. У толстопленочных композиционных резисторов в начале (после 300...500 ч работы) сопротивление уменьшается, а к концу срока службы увеличивается.

Резисторы, применяемые в колебательных контурах, усилителях высокой частоты, аттенуаторах, должны обладать только активным сопротивлением, т. е. их сопротивление не должно изменяться в рабочем диапазоне частот. Допустимое значение частотной погрешности СВЧ резисторов нормируется в определенном диапазоне частот. Граничная частота, на которой может работать резистор, зависит от его номинального сопротивления и собственной емкости  $C: f_{гр} = 1/(4\pi RC)$ . Например, собственные емкости непроволочных резисторов (BC, MT, OMLT, C2-6, C2-13J C2-14, C2-23, C2-33) находятся в интервале от 0,1 до 1,1 пФ.

Проволочные резисторы, имеющие многослойную намотку могут работать с импульсным напряжением, не превышающим номинальное. Все резисторы с импульсной мощностью, не превышающей номинальную, могут работать без ограничения длительности импульсов.

При выборе конкретных типов резисторов для работы в РЭА необходимо учитывать условия эксплуатации (диапазон температур окружающей среды, влажность, атмосферное давление, механические нагрузки), требуемые значения параметров (номинальное сопротивление, допуск, сопротивление изоляции, шумы, вид функциональной характеристики переменных резисторов, ТКС), допустимые рабочие режимы (мощность, напряжение, частоту), конструкцию резисторов, виды

концов валов управления переменных резисторов, способ монтажа, габаритные размеры, массу, показатели надежности, долговечности и сохраняемости.

С целью повышения надежности резисторы должны эксплуатироваться в облегченных по сравнению с допустимыми режимах (не более 0,7 номинальных).

## 1.6 Неисправности резисторов

Резисторы являются самыми многочисленными элементами в схемах РЭА. Проверить сопротивления резисторов можно с помощью омметра. Основной неисправностью у постоянных резисторов является увеличение сопротивления. Это чаще всего наблюдается у высокоомных (сотни кОм и более) или у низкоомных (единицы Ом) резисторов.

Обрыв в постоянных резисторах чаще всего выявляется при визуальном осмотре (нарушение окраски, черная поперечная окраска и т.п.).

Основной неисправностью переменных резисторов являются периодические обрывы в них из-за плохого контакта ползунка с резистивным слоем из-за износа резистивного слоя, на что указывает неплавный (с рывками) ход стрелки омметра при передвижении ползунка. Типичной неисправностью этого элемента является также замыкание на корпус, когда резистор установлен на заземленном шасси или на металлизированной части печатной платы, соединенной с корпусом.

## 1.7 Контрольные вопросы

- 1) На какие группы подразделяются резисторы в зависимости от конструкции, назначения и материала проводящего слоя?
- 2) Назовите основные параметры резисторов?
- 3) Обозначение и маркировка резисторов?
- 4) Чему равно эквивалентное сопротивление параллельно соединенных резисторов?
- 5) Чему равно эквивалентное сопротивление последовательно соединенных резисторов?
- 6) Назовите неисправности резисторов?

## **2 Практическая часть работы**

**Тема работы:** Резисторы

**Цель работы:** Ознакомиться с классификацией, основными параметрами, обозначением, маркировкой, видами соединения и с рекомендациями по применению резисторов.

### **2.1 Оборудование:**

- 1) набор постоянных резисторов;
- 2) набор переменных резисторов;
- 3) справочные пособия;
- 4) измерительные приборы.

### **2.2 Содержание отчёта:**

- 1) тему работы;
- 2) цель работы;
- 3) оборудование;
- 4) эскизы постоянных и переменных резисторов;
- 5) ответы на контрольные вопросы.

### **2.3 Порядок выполнения работы**

- 1) ознакомиться с теоретическим материалом о резисторах;
- 2) зарисовать различные виды резисторов из набора;
- 3) научиться с помощью справочников определять по маркировке виды и параметры резисторов;
- 4) научиться с помощью измерительных приборов определять неисправности элементов;
- 5) оформить отчет и защитить работу.

## Практическая работа 10

### Исследование полупроводниковых диодов

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** изучить основные свойства, характеристики и параметры полупроводниковых диодов, исследовать их вольтамперные характеристики (ВАХ) и возможности применения диодов в электронных схемах, ответить на контрольные вопросы.

#### *Краткие теоретические сведения.*

Как правило, полупроводниковым диодом называется двухэлектродный прибор, основу которого составляет структура из двух слоев полупроводника различных типов проводимости. На внешних границах слоев формируются невыпрямляющие (омические) контакты, выводы от которых используются для подключения диода в электрическую цепь. Область раздела слоев полупроводника представляет собой зону, обедненную свободными носителями зарядов, так называемый p-n переход.

В тоже время существуют полупроводниковые диоды, состоящие из одного слоя полупроводника (диоды Ганна), содержащие выпрямляющий контакт полупроводник–металл (диоды Шоттки) или имеющие несколько слоев полупроводника с разными свойствами (p-i-n диоды).

Вывод от «р» слоя полупроводника в диоде с p-n переходом называется анодом, а соответствующий вывод от «n» слоя – катодом. Условная структура полупроводникового диода и его обозначение на принципиальных схемах представлены на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1. Структура и условное обозначение полупроводникового диода.

При подаче на анод отрицательного, а на катод положительного напряжения, основные носители (дырки в p и электроны в n полупроводнике) оттянутся к внешним краям диода, и ширина p-n перехода возрастет. В идеале при этом ток через диод должен отсутствовать, так как свободных носителей внутри p-n перехода нет. Сам переход в данной ситуации выполняет роль изолятора, а диод можно представить в виде конденсатора, обкладками которого служат слои полупроводника, а диэлектриком – p-n переход.

При уменьшении запирающего (обратного) напряжения толщина перехода будет уменьшаться, а при смене полярности и некоторой величине прямого

(отпирающего) напряжения она станет равной нулю, и области с большими концентрациями свободных носителей сомкнутся. Через диод потечет прямой ток, величина которого зависит от приложенного напряжения и свойств полупроводниковых материалов.

В реальных диодах при запирающем (обратном) напряжении протекает не равный нулю обратный ток ( $I_0$ ) и, увеличивающийся с ростом этого напряжения. Данный ток можно представить в виде совокупности трех составляющих:

$$I_{обр.} = I_0 + I_T + I_y \quad (1)$$

где  $I_0$  - ток насыщения (тепловой ток), обусловленный наличием неосновных носителей – дырок в «n» полупроводнике и электронов в «р» слое;  $I_T$  – ток термогенерации, связанный с появлением в зоне p-n перехода свободных носителей (генерацией электронно-дырочных пар), количество которых пропорционально температуре и объему перехода (величине обратного напряжения);  $I_y$  – ток утечки, обусловленный конечным значением сопротивления поверхности полупроводника, он также пропорционален запирающему напряжению. При малых обратных напряжениях и небольших температурах  $I_{обр.} = I_0$ .

В реальных полупроводниковых диодах при достижении обратным напряжением некоторой величины наступает пробой p-n перехода, что вызывает резкое увеличение обратного тока. Пробой может быть обусловлен либо квантовомеханическими туннельными эффектами, лавинообразным ростом неосновных носителей из-за большой напряженности электрического поля в объеме p-n перехода, или из-за роста температуры полупроводника, вызывающей рост тока  $I_T$ , дальнейший разогрев диода и т.д.

В первых двух случаях пробой называется электрическим, а в третьем – тепловым. Электрический пробой является обратимым, то есть при снятии обратного напряжения, вызвавшего пробой, p-n переход восстанавливает свои свойства. Тепловой пробой необратим и вызывает разрушение p-n перехода (расплавление его). Для того чтобы электрический пробой не перешел в тепловой количество выделяющегося в зоне p-n перехода тепла должно быть меньше рассеиваемого. Это можно реализовать ограничив ток пробоя каким-либо внешним элементом. В режиме электрического пробоя диод может находиться достаточно длительное время, при этом величина падения напряжения на нем очень слабо связана с величиной тока пробоя, как показано на рисунок 1.2.

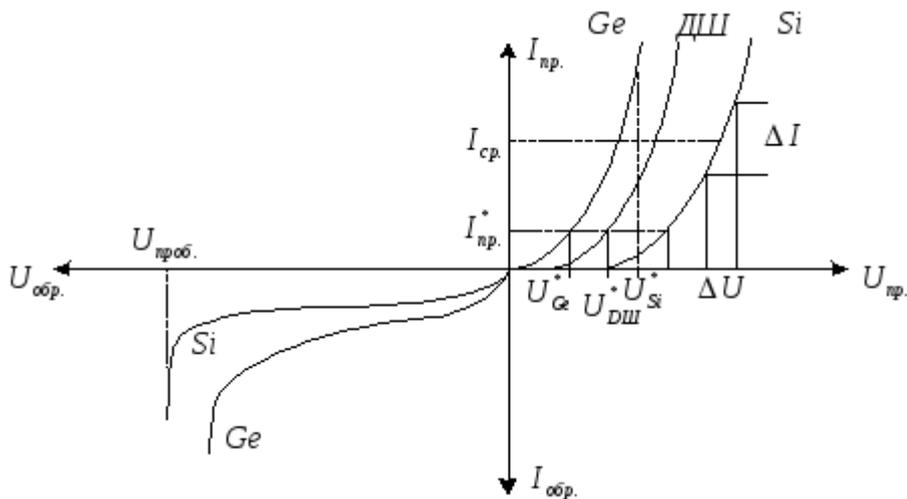


Рисунок 1.2. Вольтамперные характеристики полупроводниковых диодов, изготовленных из разных материалов.

У реальных диодов величина обратного тока зависит от материала полупроводника. Для кремниевых диодов при комнатной температуре имеет порядок единиц-десятков микроампер, для германиевых – сотни микроампер, миллиамперы. Напряжение пробоя определяется характеристиками полупроводниковых материалов и может лежать в пределах от единиц вольт до киловольт.

Зависимость обратного тока р-п перехода от напряжения описывается тем же соотношением, но напряжение  $U$  имеет отрицательный знак. На приведенных вольтамперных характеристиках (ВАХ) диодов, масштабы токов и напряжений прямой и обратной ветвей для наглядности выбраны различными.

Кроме полупроводниковых диодов с р-п переходом существует разновидность кремниевых диодов, у которых один из слоев полупроводника заменен металлом и образует с другим слоем выпрямляющий контакт (рисунок 1.3). Такие диоды носят название диодов Шоттки и отличаются тем, что прямая ветвь их вольтамперной характеристики лежит в промежутке между соответствующими ветвями германиевого и кремниевого диодов. Кроме того, диоды Шоттки обладают очень малой емкостью в запертом состоянии, а напряжение пробоя для них не превышает нескольких десятков вольт.

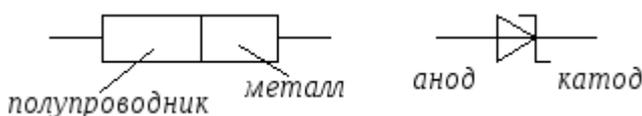


Рисунок 1.3. Структура и условное обозначение диода Шоттки.

## 1.1. Физические процессы в $p-n$ -переходе

Основным элементом большинства полупроводниковых приборов является электронно-дырочный переход ( $p-n$ -переход), представляющий собой переходный слой между двумя областями полупроводника, одна из которых имеет электронную электропроводность, а другая — дырочную.

### 1.1.1. Образование $p-n$ перехода. $P-n$ переход в равновесном состоянии

Рассмотрим подробнее процесс образования  $p-n$  перехода. Равновесным называют такое состояние перехода, когда отсутствует внешнее напряжение. Напомним, что в  $p$ -области имеются два вида основных носителей заряда: неподвижные отрицательно заряженные ионы атомов акцепторной примеси и свободные положительно заряженные дырки; а в  $n$ -области имеются также два вида основных носителей заряда: неподвижные положительно заряженные ионы атомов акцепторной примеси и свободные отрицательно заряженные электроны.

До соприкосновения  $p$  и  $n$  областей электроны дырки и ионы примесей распределены равномерно. При контакте на границе  $p$  и  $n$  областей возникает градиент концентрации свободных носителей заряда и диффузия. Под действием диффузии электроны из  $n$ -области переходят в  $p$  и рекомбинируют там с дырками. Дырки из  $p$ -области переходят в  $n$ -область и рекомбинируют там с электронами. В результате такого движения свободных носителей заряда в пограничной области их концентрация убывает почти до нуля и в тоже время в  $p$  области образуется отрицательный пространственный заряд ионов акцепторной примеси, а в  $n$ -области положительный пространственный заряд ионов донорной примеси. Между этими зарядами возникает контактная разность потенциалов  $\varphi_k$  и электрическое поле  $E_k$ , которое препятствует диффузии свободных носителей заряда из глубины  $p$ - и  $n$ -областей через  $p-n$ -переход. Таким образом область, объединённая свободными носителями заряда со своим электрическим полем и называется  $p-n$ -переходом.

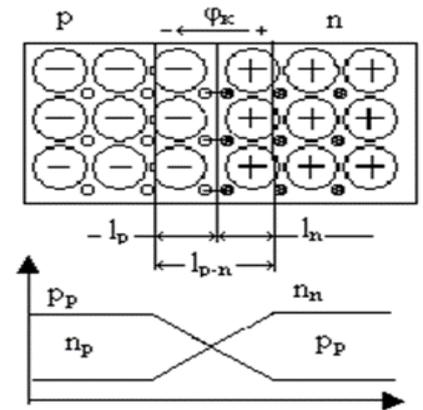


Рис.1.1

**$P-n$ -переход характеризуется двумя основными параметрами:**

- 1. Высота потенциального барьера.** Она равна контактной разности потенциалов  $\varphi_k$ . Это разность потенциалов в переходе, обусловленная градиентом концентрации носителей заряда. Это энергия, которой должен обладать свободный заряд чтобы преодолеть потенциальный барьер:

$$\varphi_k = \varphi_p - \varphi_n \quad (2)$$

$\varphi_m = kT/e$  - температурный потенциал. При температуре  $T=27^{\circ}\text{C}$

$\varphi_m = 0,025\text{В}$ , для германиевого перехода  $\varphi_k = 0,6\text{В}$ , для кремниевого перехода  $\varphi_k = 0,8\text{В}$ .

**2. Ширина р-п-перехода** (рисунок 1.1) – это приграничная область, обеднённая носителями заряда, которая располагается в  $p$  и  $n$  областях:  $l_{p-n} = l_p + l_n$ :

$$l_{p-n} = \sqrt{\frac{2\varepsilon\varepsilon_0\varphi_k}{e} \left( \frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_D} \right)}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость материала полупроводника;  $\varepsilon_0$  — диэлектрическая постоянная свободного пространства.

Толщина электронно-дырочных переходов имеет порядок (0,1-10)мкм.

При обратном смещении концентрация неосновных носителей заряда на границе перехода несколько снижается по сравнению с равновесной. Это приводит к диффузии неосновных носителей заряда из глубины  $p$  и  $n$ -областей к границе  $p-n$  перехода. Достигнув ее неосновные носители попадают в сильное электрическое поле и переносятся через  $p-n$  переход, где становятся основными носителями заряда. Диффузия неосновных носителей заряда к границе  $p-n$  перехода и дрейф через него в область, где они становятся основными носителями заряда, называется *экстракцией*. Экстракция и создает обратный ток  $p-n$  перехода – это ток неосновных носителей заряда.

Величина обратного тока сильно зависит: от температуры окружающей среды, материала полупроводника и площади  $p-n$  перехода.

## 1.2. Полупроводниковые диоды

Полупроводниковый прибор с одним  $p-n$ -переходом, имеющий два омических вывода, называют *полупроводниковым диодом* (рисунок 1.4). Одна из областей  $p-n$ -структуры ( $p^+$ ), называемая эмиттером, имеет большую концентрацию основных носителей заряда, чем другая область, называемая базой.

*Статическая вольт-амперная характеристика (ВАХ) полупроводникового диода* изображена на рисунке 1.4. Здесь же пунктиром показана теоретическая ВАХ электронно-дырочного перехода, определяемая соотношением

$$I = I_0(e^{U/(m\varphi_m)} - 1), \quad (4)$$

где  $I_0$  — обратный ток насыщения (ток экстракции, обусловленный неосновными носителями заряда; значение его очень мало);  $U$  — напряжение на  $p-n$ -переходе;  $\varphi_m = kT/e$  — температурный потенциал ( $k$  — постоянная Больцмана,  $T$  — температура,  $e$  — заряд электрона);  $m$  — поправочный коэффициент:  $m = 1$  для германиевых  $p-n$ -переходов и  $m = 2$  для кремниевых  $p-n$ -переходов при малом токе).

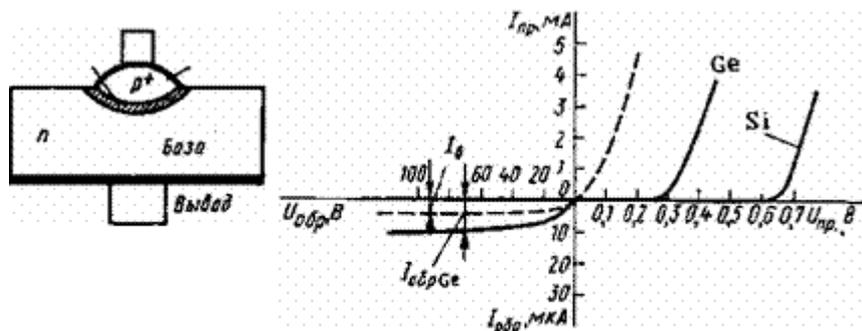


Рис.1.4.

Кремниевые диоды имеют существенно меньшее значение обратного тока по сравнению с германиевыми, вследствие более низкой концентрации неосновных носителей заряда. Обратная ветвь

ВАХ у кремниевых диодов при данном масштабе практически сливается с осью абсцисс. Прямая ветвь ВАХ у кремниевых диодов расположена значительно правее, чем у германиевых.

Если через германиевый диод протекает постоянный ток, при изменении температуры падение напряжения на диоде изменяется приблизительно на  $2,5 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$ :

$$dU/dT = -2,5 \text{ В}/^\circ\text{C}. \quad (1.5)$$

Для диодов в интегральном исполнении  $dU/dT$  составляет от  $-1,5 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$  в нормальном режиме до  $-2 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$  в режиме микротоков.

Максимально допустимое увеличение обратного тока диода определяет максимально допустимую температуру диода, которая составляет  $80 - 100 \text{ }^\circ\text{C}$  для германиевых диодов и  $150 - 200 \text{ }^\circ\text{C}$  для кремниевых.

Минимально допустимая температура диода лежит в пределах  $-(60 - 70)^\circ\text{C}$ .

Дифференциальным сопротивлением диода называют отношение приращения напряжения на диоде к вызванному им приращению тока:

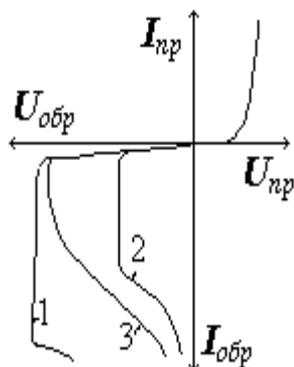


Рис.1.5

$$r_{\text{диф}} = dU/dI \quad (5)$$

Отсюда следует, что для  $p-n$ -перехода  $r_{\text{диф}} \approx m/I$ .

**Побой диода.** При обратном напряжении диода свыше определенного критического значения наблюдается

резкий рост обратного тока (рисунок 1.5). Это явление называют пробоем диода. Пробой диода возникает либо в результате воздействия сильного электрического поля в  $p-n$ -переходе (рисунок 1.5, кривая 1 и 2). Такой пробой называется электрическим. Он может быть туннельным – кривая 2 или лавинным – кривая 1. Либо пробой возникает в результате разогрева  $p-n$ -перехода при протекании тока большого значения и при недостаточном теплоотводе, необеспечивающем устойчивость теплового режима перехода (рисунок 1.5, кривая 3). Такой пробой называется тепловым пробоем. Электрический пробой обратим, т. е. он не приводит к повреждению диода, и при снижении обратного напряжения свойства диода сохраняются. Тепловой пробой является необратимым. Нормальная работа диода в качестве элемента односторонней проводимостью возможна лишь в режимах, когда обратное напряжение не превышает пробивного значения  $U_{обр\ max}$ .

Таким образом,  $p-n$  перехода обладает односторонней проводимостью.

Значение допустимого обратного напряжения устанавливается с учетом исключения возможности электрического пробоя и составляет  $(0,5 - 0,8) U_{проб}$ .

### Контрольные вопросы

1. Что такое собственная и примесная проводимости?
2. Что такое контактная разность потенциалов?
3. Как зависит ширина  $p-n$  перехода от приложенного напряжения?
4. Нарисовать ВАХ идеального  $p-n$ -перехода и реального диода. Объяснить различия.
5. Нарисовать ВАХ германиевого и кремниевого диода. Объяснить различия.
6. Как влияет температура окружающей среды на вольтамперные характеристики диодов?
- 7 При каких условиях возникает тепловой пробой?
- 8 Чем определяется максимально допустимое обратное напряжение диода?
- 9 От чего зависит напряжение лавинного пробоя?
- 10 Как объяснить выпрямительные свойства  $p-n$  перехода?

### Практическая часть работы

**Тема работы:** Диоды

**Цель работы:** Ознакомиться с основными параметрами, обозначением диодов.

#### 2. 1 Оборудование:

- 1) справочные пособия;
- 2) измерительные приборы.

## 2.2 Содержание отчёта:

- 1) тему работы;
- 2) цель работы;
- 3) оборудование;
- 4) ВАХ диодов;
- 5) ответы на контрольные вопросы.

## 2.3 Порядок выполнения работы

- 1) ознакомиться с теоретическим материалом о диодах;
- 2) зарисовать ВАХ диодов;
- 3) оформить отчет и защитить работу.

## Учебно-методическое и информационное обеспечение

### 3.1 Список использованных источников

1. Журавлева Л.В. Электроматериаловедение: Учеб. для нач. проф. образования: Учеб. пособие для сред. проф. образования / Л.В. Журавлева. - 2-е изд. стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 312 с. ISBN 5-7695-1548-1
2. Каяцкас А.А. Основы радиоэлектроники. М.: Высшая школа, 1988, с.167-174, с.418-428.
3. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. М.: Энергия, 1967. с.58-141.
4. Жеребцов И.П. Основы электроники. Л.: Энергоатомиздат, 1990. с.31-58.
5. Бочаров Л.Н. Электронные приборы. М: Энергия, 1979. с.48-87.
6. Хабаров, Б.П. Техническая диагностика и ремонт бытовой радиоэлектронной аппаратуры: учебное пособие / Б.П. Хабаров, Г.В. Куликов, А.А.Парамонов, под общей редакцией Г.В. Куликова. - М.: Горячая линия-Телеком, 2004 - 376 с.: ил.
7. Миссюль, П.И. Техническое обслуживание и ремонт бытовой радиоаппаратуры / П.И. Миссюль - Мн.: Выш.шк., 2002. - 320с.: ил.
8. Ярочкина, Г.В. Радиоэлектронная аппаратура и приборы. Монтаж и регулировка / Г.В. Ярочкина - М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 240 с.
9. Гусев В.Г. Электроника / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев - М.: Высшая школа, 2004 - 621с

10. Фрумкин, Г.Д. Расчет и конструирование радиоаппаратуры / Г.Д.Фрумкин - М.:Высшая школа, 2002 -462с
11. Кучумов, А.И. Электроника и схемотехника. Учебное пособие. 3-е изд. / А.И. Кучумов - М.: Гелиос АРВ, 2005 – 366с.:ил
12. Аксёнов, А.И. Элементы схем бытовой радиоаппаратуры. Конденсаторы. Резисторы: Справочник. / А.И Аксёнов, А.В. Нефёдов – М.: Радио и связь, 2000.- 240 с.
13. Аксёнов, А.И. Резисторы. Конденсаторы: Справочное пособие. / А.И Аксёнов, А.В. Нефёдов - М.: Солон-Р, 2000.- 240 с.
14. Дубровский, В.В. Резисторы: Справочник. / В.В. Дубровский, Д.М. Иванов, Н.Я. Пратусевич -М.: Радио и связь, 2001.- 528 с.

### 3.2 Интернет - ресурсы

1. <https://docplayer.ru>
2. <https://refdb.ru>