

**Министерство науки и высшего образования РФ  
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»  
Инженерно-физический факультет высоких технологий**

Соловьев А.А.

**Методические указания  
для самостоятельной работы студентов  
по дисциплине  
«Физические свойства твердых тел»**

для студентов бакалавриата всех форм обучения  
направления подготовки:  
28.03.02 «Наноинженерия»

Ульяновск 2019 г.

Методические указания для самостоятельной работы студентов по дисциплине «Физические свойства твердых тел» / составитель: А.А. Соловьев. – Ульяновск: УлГУ, 2019.

Настоящие методические указания предназначены для студентов бакалавриата, изучающих дисциплину «Физические свойства твердых тел». В указаниях приведены литература по дисциплине, основные темы курса и вопросы в рамках каждой темы, рекомендации по изучению теоретического материала, контрольные вопросы для самоконтроля и тесты для самостоятельной работы.

Студентам заочной и очно-заочной формы обучения следует использовать данные методические указания при самостоятельном изучении дисциплины.

*Рекомендованы к введению в образовательный процесс Ученым советом Инженерно-физического факультета высоких технологий УлГУ (протокол № 11 от 18 июня 2019 г.).*

## Содержание

Литература для изучения дисциплины.....	4
Методические указания.....	5
<b>Раздел 1. Введение.....</b>	<b>5</b>
<b>Раздел 2. Элементы кристаллографии.....</b>	<b>6</b>
<b>Раздел 3. Реальные кристаллы.....</b>	<b>8</b>
<b>Раздел 4. Методы исследования кристаллической структуры.....</b>	<b>12</b>
<b>Раздел 5. Типы межчастичной связи в твердых телах.....</b>	<b>18</b>
<b>Раздел 6. Металлы.....</b>	<b>20</b>
<b>Раздел 7. Полупроводники.....</b>	<b>23</b>
<b>Раздел 8. Аморфные твердые тела.....</b>	<b>25</b>

## Литература для изучения дисциплины

1. Готтштайн, Г. Физико-химические основы материаловедения: Учебное пособие / Готтштайн Г., - 3-е изд., (эл.) - Москва :БИНОМ. Лаб. знаний, 2015. - 403 с.: ISBN 978-5-00101-446-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/539831>.
2. Сарина, М. П. Физика твердого тела: учебное пособие / М. П. Сарина. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2017. — 107 с. — ISBN 978-5-7782-3319-5. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/91466.html>.
3. Гуртов, В. А. Физика твердого тела для инженеров: учебное пособие / В. А. Гуртов, Р. Н. Осауленко ; под редакцией Л. А. Алешина. — Москва : Техносфера, 2012. — 560 с. — ISBN 978-5-94836-327-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/26903.html>.
4. Павлов П.В., Хохлов А. Ф. Физика твердого тела : учебник для вузов по направл. "Физика" / Павлов Павел Васильевич, А. Ф. Хохлов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Нижний Новгород : Нижегород. ун-т, 1993. - 490 с. : ил. - ISBN 5-230-03839-x (в пер.).
5. Фомин, Д. В. Экспериментальные методы физики твердого тела : учебное пособие / Д. В. Фомин. — Саратов : Вузовское образование, 2017. — 185 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/57258.html> (дата обращения: 22.01.2021).
6. Федотов, А. К. Физическое материаловедение. Часть 1. Физика твердого тела : учебное пособие / А. К. Федотов. — Минск : Вышэйшая школа, 2010. — 400 с. — ISBN 978-985-06-1918-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/20161.html>.
7. Физика твердого тела. Структура твердого тела и магнитные явления : спецпрактикум / Ю. И. Авксентьев и др.; под ред. А. А. Кацнельсона, Г. С. Кринчика. - Москва : МГУ, 1982. - 304 с. : ил.
8. Методические указания по выполнению лабораторных работ по физике конденсированного состояния вещества (физике твердого тела, физическим свойствам твердых тел) для студентов бакалавриата и специалитета / Л. Н. Вострецова, В. В. Рыбин, А. А. Соловьев; УлГУ, ИФФВТ. - Ульяновск: УлГУ, 2019. <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Download/MObject/6757>.

## Методические указания

### Раздел 1. Введение

#### Основные вопросы темы:

- Основные сведения о твердых телах.
- Кристаллические и аморфные тела.
- Анизотропия.
- Применение твердых тел в науке и технике.

#### Рекомендации по изучению темы:

Материал по данному разделу, а также ответы на вопросы изложены в [1] – глава 1, [2] – глава 1.

#### Примерные вопросы для обсуждения на практических (семинарских) занятиях

**Тема 1.** Основные сведения о твердых телах

#### Контрольные вопросы

1. Основные сведения о твердых телах.
2. Кристаллические и аморфные тела.
3. Анизотропия.
4. Применение твердых тел в науке и технике.

## Раздел 2. Элементы кристаллографии

### Основные вопросы темы:

- Элементарные ячейки.
- Индексы Миллера.
- Ячейки Вигнера-Зейтца.
- Основные характеристики кристаллической решетки.
- Основные типы кристаллических решеток (14 – решеток Бравэ).
- Трансляционные элементы симметрии.

### Рекомендации по изучению темы:

Материал по данному разделу, а также ответы на вопросы изложены в [1] – глава 2.2, [3] – глава 1.

### Примерные вопросы для обсуждения на практических (семинарских) занятиях

**Тема 1.** Элементарные ячейки. Индексы Миллера.

**Тема 2.** Основные типы кристаллических решеток.

### Контрольные вопросы

1. Кристаллические и аморфные тела, анизотропия кристаллов;
2. Элементарные ячейки, узловые прямые и плоскости в решетке, индексы Миллера;
3. Основные характеристики кристаллической решетки (число частиц, координационное число, плотность упаковки, атомный радиус, ионный радиус).

### Тесты для самостоятельной работы

#### 1. Что такое элементарная кристаллическая ячейка?

- a) Тип кристаллической решетки, характерный для данного химического элемента.
- b) Минимальный объем кристаллической решетки, при трансляции которого по координатным осям можно воспроизвести всю решетку.
- c) Кристаллическая ячейка, содержащая один атом.
- d) Бездефектная (за исключением точечных дефектов) область кристаллической решетки.

#### 2. Как называются материалы, образованные одинаковыми атомами, но имеющие различную кристаллическую структуру?

- a) Полиморфные модификации

b) Изотопы

c) Изобары

### **Раздел 3. Реальные кристаллы**

#### **Основные вопросы темы:**

- Дефекты кристаллической решетки.
- Точечные дефекты.
- Концентрация точечных дефектов.
- Линейные дефекты.
- Краевая и винтовая дислокации.
- Контур и вектор Бюргерса.
- Источники дислокаций.
- Границы зерен.
- Энергии дислокаций.

#### **Рекомендации по изучению темы:**

Материал по данному разделу, а также ответы на вопросы изложены в [1] – глава 3, [3] – глава 3.

#### **Примерные вопросы для обсуждения на практических (семинарских) занятиях**

**Тема 1.** Точечные дефекты кристаллической решетки

**Тема 2.** Линейные и объемные дефекты кристаллической решетки

#### **Контрольные вопросы**

1. Точечные дефекты, причины возникновения дефектов;
2. Концентрация точечных дефектов по Шаттки и Френкелю;
3. Линейные дефекты, краевая и винтовая дислокации;
4. Контур и вектор Бюргерса;

#### **Тесты для самостоятельной работы**

**1. К какой группе дефектов кристаллических структур можно отнести дефект представленного на рис. 10 фрагмента кристаллической решетки?**



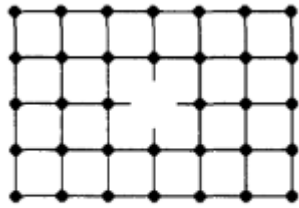


Рис. 10

- a) К точечным.
- b) К линейным.
- c) К поверхностным.
- d) К объемным.

**2. Какую группу дефектов представляют собой искажения, охватывающие области в радиусе 6 ... 7 периодов кристаллической решетки?**

- a) Поверхностные.
- b) Объемные.
- c) Точечные.
- d) Линейные.

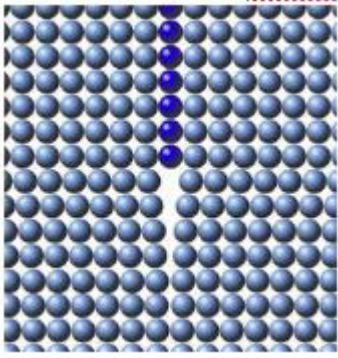
**3. Что такое экстраплоскость?**

- a) Плоскость раздела фрагментов зерна или блоков мозаичной структуры.
- b) Поверхностный дефект кристаллической решетки.
- c) Атомная полуплоскость, не имеющая продолжения в нижней или верхней частях кристаллической решетки.
- d) Атомная плоскость, по которой происходит скольжение одной части кристалла относительно другой.

**4. Как называется дефект, представляющий собой область искажений кристаллической решетки вдоль края экстраплоскости?**

- a) Краевая дислокация.
- b) Цепочка вакансий.
- c) Микротрещина.
- d) Винтовая дислокация.

**5. Какова размерность дефекта, изображенного на данном рисунке?**



- a) 0
- b) 1
- c) 2
- d) 3

**6. Что является стимулом фазовых переходов?**

- a) Стремление системы к минимуму свободной энергии
- b) Стремление системы к максимуму свободной энергии
- c) Стремление системы к неизменности свободной энергии
- d) Стремление системы к минимальному объему
- e) Стремление системы к максимальному объему

**7. Что такое полиморфизм?**

- a) Способность материала менять микроструктуру в зависимости от условий
- b) Способность материала менять кристаллическую решетку в зависимости от условий
- c) Способность материала менять физико-химические свойств в зависимости от условий
- d) Способность материала менять механические свойства в зависимости от условий

**8. В каком агрегатном состоянии частицы вещества обладают наименьшей энергией?**

- a) Твердое
- b) Жидкое
- c) Газообразное

**9. Как соотносятся температура плавления и температура кристаллизации реального материала?**

- a) Температуры плавления и кристаллизации равны
- b) Температура плавления будет превышать температуру кристаллизации
- c) Температура кристаллизации будет превышать температуру плавления

**10. Как меняются механические свойства металлов в результате холодной пластической деформации?**

- a) Повышается твёрдость.
- b) Повышается прочность.
- c) Повышается пластичность.
- d) Понижается пластичность.
- e) Понижается твёрдость.

**11. Как меняются механические свойства металлов в результате рекристаллизации?**

- a) Повышается твёрдость.
- b) Повышается прочность.
- c) Повышается пластичность.
- d) Понижается пластичность.
- e) Понижается твёрдость.

**12. Как называется свойство материала выдерживать большие пластические деформации без разрушения?**

- a) Прочность
- b) Пластичность
- c) Твердость
- d) Трещиностойкость

**13. Какие из утверждений относительно хрупких материалов верны?**

- a) Величина пластической деформации при разрушении хрупких материалов обычно составляет не более 10%
- b) Диаграмма растяжения таких материалов не имеет зоны деформационного упрочнения
- c) Диаграмма растяжения таких материалов не имеет площадки текучести
- d) Диаграмма растяжения таких материалов не имеет зоны упругой деформации

**14. На каком участке кривой растяжения материал подчиняется закону Гука?**

- a) На участке упругой деформации
- b) На участке общей текучести
- c) На участке зоны упрочнения
- d) На участке местной текучести

## **Раздел 4. Методы исследования кристаллической структуры**

### **Основные вопросы темы:**

- Рентгенография.
- Закон дифракции Брэгга-Вульфа.
- Метод Дебая-Шеррера.
- Метод Лауэ.

### **Рекомендации по изучению темы:**

Материал по данному разделу, а также ответы на вопросы изложены в [1] – глава 2.5, [5] – главах 2, 3, 4.

### **Примерные вопросы для обсуждения на практических (семинарских) занятиях**

**Тема 1.** Рентгенография. Закон дифракции Брэгга-Вульфа.

**Тема 2.** Метод Дебая-Шеррера. Метод Лауэ.

### **Контрольные вопросы**

1. Рентгенография;
2. Закон дифракции Брэгга-Вульфа;
3. Метод Дебая - Шеррера;
4. Метод Лауэ.

### **Тесты для самостоятельной работы**

#### **1. Выберите правильный ответ. Что такое ударная вязкость?**

- a) Свойство материала поглощать энергию в процессе деформации и разрушения под действием ударной нагрузки (удара).
- b) Свойство материала сопротивляться необратимому изменению формы и разрушению под действием внешних статических нагрузок.
- c) Свойство материала сопротивляться упругой деформации.
- d) Свойство материала необратимо изменять форму и размеры (пластически деформироваться) под действием механических (статических) нагрузок.
- e) Свойство материала сопротивляться разрушению от действия переменных, периодически (циклически) повторяющихся нагрузок.

#### **2. Выберите правильный ответ. Что такое циклическая прочность?**

- a) Свойство материала поглощать энергию в процессе деформации и разрушения под действием ударной нагрузки (удара).
- b) Свойство материала сопротивляться необратимому изменению формы и разрушению под действием внешних статических нагрузок.
- c) Свойство материала сопротивляться разрушению от действия переменных, периодически (циклически) повторяющихся нагрузок.
- d) Свойство материала сопротивляться упругой деформации.
- e) Свойство материала необратимо изменять форму и размеры (пластически деформироваться) под действием механических (циклических) нагрузок.

**3. Выберите правильный ответ. Что такое пластичность?**

- a) Свойство материала необратимо изменять форму и размеры (пластически деформироваться) под действием механических нагрузок
- b) Свойство материала поглощать энергию в процессе деформации и разрушения под действием ударной нагрузки (удара)
- c) Свойство материала сопротивляться разрушению от действия переменных, периодически (циклически) повторяющихся нагрузок
- d) Свойство материала сопротивляться необратимому изменению формы и разрушению под действием внешних статических нагрузок
- e) Свойство материала сопротивляться упругой деформации

**4. Выберите наиболее правильный (полный) ответ. Что такое статическая прочность?**

- a) свойство материала сопротивляться разрушению;
- b) свойство материала статически деформироваться без разрушения под действием сжимающих нагрузок.
- c) свойство материала не деформироваться под действием ударов;
- d) свойство материала деформироваться упруго и пластически под действием внешних статических нагрузок;
- e) свойство материала сопротивляться необратимому изменению формы и разрушению под действием внешних статических нагрузок;

**5. Выберите правильный ответ. Что такое жесткость?**

- a) Свойство материала сопротивляться разрушению от действия переменных, периодически (циклически) повторяющихся нагрузок.

- b) Свойство материала сопротивляться необратимому изменению формы и разрушению под действием внешних статических нагрузок.
- c) Свойство материала сопротивляться упругой деформации.
- d) Свойство материала поглощать энергию в процессе деформации и разрушения под действием ударной нагрузки (удара).
- e) Свойство материала необратимо изменять форму и размеры (пластически деформироваться) под действием статических нагрузок.

**6. Какие свойства конструкционных материалов являются определяющими:**

- a) технологические
- b) эксплуатационные
- c) физические
- d) механические

**7. Способность материала сопротивляться деформации и разрушению при повышенных температурах называется**

- a) вязкостью
- b) жаростойкостью
- c) ползучестью
- d) жаропрочностью

**8. Свойство материала сопротивляться разрушению под действием переменных (периодически повторяющихся) нагрузок называется**

- a) длительная прочность
- b) износостойкость
- c) жесткость
- d) циклическая прочность

**9. Свойство материала сопротивляться упругой деформации называется**

- a) упругость
- b) жесткость
- c) вязкость
- d) прочность

**10. Свойство материала сопротивляться вдавливанию в его поверхность пробного тела (индентора) называется**

- a) жесткость
- b) твердость
- c) прочность
- d) упругость

**11. Какие из перечисленных видов излучения имеют более низкую длину волны, нежели рентгеновское излучение?**

- a) Гамма-лучи
- b) Бета-лучи
- c) Микроволны
- d) Видимый свет

**12. Рентгеновские лучи используются для изучения кристаллических тел потому что:**

- a) Они имеют высокую энергию и могут проникать сквозь кристаллические тела
- b) Рентгеновские лучи являются электромагнитным излучением, и поэтому не взаимодействуют с кристаллическими телами
- c) Их длина волны сравнима с межатомными расстояниями в кристаллах
- d) Их частота позволяет проводить быстрый анализ

**13. Минимальное межплоскостное расстояние, которое требуется для Брэгговской дифракции, составляет:**

- a)  $\lambda/4$
- b)  $\lambda/2$
- c)  $\lambda$
- d)  $2\lambda$

**14. Что используется в качестве источника рентгеновских лучей в установке рентгенструктурного анализа?**

- a) Свинцовая трубка с радием
- b) Рентгеновская трубка
- c) Ускоритель электронов
- d) Синхротрон

**15. Какой из видов рентгеновского излучения имеет более широкое распределение фотонов по частоте?**

- a) Характеристическое
- b) Тормозное

**16. Как возникает тормозное излучение?**

- a) За счет изменения траектории движения электрона под влиянием ядра атома, мимо которого пролетает электрон
- b) За счет соударения между электронами
- c) За счет распада атомного ядра после взаимодействия с электроном
- d) За счет возникновения наведенной радиоактивности при работе рентгеновской трубки

**17. Какое из данных видов рентгеновского излучения целесообразно использовать для дифракции на кристаллической решетке?**

- a) Тормозное
- b) Характеристическое
- c) Смешанное

**18. Является ли электрон частицей или волной?**

- a) Частицей
- b) Волной
- c) И частицей, и волной одновременно
- d) Ни тем, ни другим

**19. Какой опыт доказал существование волновой природы электрона?**

- a) Опыт Резерфорда
- b) Опыт Томпсона
- c) Опыт Юнга
- d) Опыт Торричелли
- e) Опыт Эрстеда

**20. В каком устройстве обычно реализуется дифракция электронов для исследования кристаллической решетки материала?**

- a) Рентгеновская установка
- b) Синхротронная установка



- c) Сканирующий электронный микроскоп
- d) Просвечивающий электронный микроскоп
- e) Масс-спектрометр

**21. Какие из данных методов позволяют определить период кристаллической решетки исследуемого материала?**

- a) Рентгеноструктурный фазовый анализ
- b) Просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения
- c) Сканирующая электронная микроскопия
- d) Дифракция электронов
- e) Дифракция синхротронного излучения
- f) Оптическая микроскопия

**22. Какие особенности образца конструкционной стали целесообразно исследовать с помощью просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения?**

- a) Наличие и распределение по размерам пор в образце
- b) Размер, форму и состав зерен стали.
- c) Образование атомарных кластеров при распаде твердого раствора
- d) Наноразмерные выделения на границах зерен

**23. Для реализации метода просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения необходима специфическая геометрическая конфигурация объектива. Как она называется?**

- a) Геометрия Брэгга
- b) Геометрия Брэгга-Брентано
- c) Расфокусировка Шерцера

## Раздел 5. Типы межчастичной связи в твердых телах

### Основные вопросы темы:

- Молекулярная связь.
- Ионная связь.
- Ковалентная связь.
- Образование электронно-зарядовой плотности при образовании ковалентной связи.

### Рекомендации по изучению темы:

Материал по данному разделу, а также ответы на вопросы изложены в [1] – главах 2.1, 2.2, [3] – глава 2.

### Примерные вопросы для обсуждения на практических (семинарских) занятиях

**Тема 1.** Молекулярная связь. Ионная связь. Ковалентная связь.

**Тема 2.** Образование электронно-зарядовой плотности при образовании ковалентной связи.

### Контрольные вопросы

1. Молекулярная связь, природа взаимодействия;
2. Энергия молекулярного взаимодействия;
3. Ионная связь (природа взаимодействия и схема образования связи);
4. Энергия образования ионной связи (формула Борна-Майера);
5. Механизм образования ковалентной связи;
6. Электронная конфигурация;
7. Квантовые числа;
8. Принцип Паули, принцип минимума энергии;

### Тесты для самостоятельной работы

**1. Какие из перечисленных положений соответствуют атомной модели Демокрита?**

- а) Атомы – мельчайшие неделимые частицы материи, не обладающие внутренней структурой.**
- б) Свойства атомов зависят от их формы, а не внутренней структуры.
- в) Электроны равномерно распределены в атоме, как изюм в кексе.
- г) Внутренняя структура атома состоит из диполей
- д) Свойства электронов определяются четырьмя квантовыми числами.

f) Ядро атома обладает положительным зарядом, а отрицательно заряженные электроны вращаются вокруг ядра.

**2. Какая из перечисленных моделей впервые объяснила различие свойств атомов разных веществ?**

- a) Модель Демокрита
- b) Модель Резерфорда
- c) Модель Шредингера

**3. На тонкую золотую фольгу направлен поток ядер гелия. Какое из следующих утверждений верно?**

- a) Ядра будут проходить сквозь фольгу
- b) Ядра будут задержаны фольгой
- c) Ядра будут отражаться от фольги
- d) Часть ядер будет отражаться от фольги, часть – проходить сквозь фольгу
- e) Ядра будут вступать во взаимодействие с материалом фольги и вызывать протекание ядерного распада

**4. Чем определяется равновесное расстояние между атомами в веществе?**

- a) Диаметром атомов
- b) Балансом сил притяжения и отталкивания между атомами
- c) Количеством электронов на внутренних орбиталях атомов
- d) Количеством электронов на внешних орбиталях атомов

**5. Какой род химической связи возникает за счет Кулоновской силы притяжения?**

- a) Металлическая
- b) Ковалентная
- c) Ионная
- d) Водородная

## **Раздел 6. Металлы**

### **Основные вопросы темы:**

- Теория электропроводности металлов.
- Работа выхода электронов из металлов.

### **Рекомендации по изучению темы:**

Материал по данному разделу, а также ответы на вопросы изложены в [1] – глава 10, [2] – глава 2, [3] – глава 10. Методические указания по выполнению лабораторных работ изложены в [8].

### **Примерные вопросы для обсуждения на практических (семинарских) занятиях**

**Тема 1.** Теория электропроводности металлов.

**Тема 2.** Работа выхода электронов из металлов.

### **Примерные вопросы для обсуждения на практических (лабораторных) занятиях**

1. В чем состоит классическая теория электропроводности металлов?
2. Как объясняется зависимость электропроводности металлов от температуры?
3. Что такое температурный коэффициент сопротивления? Какой его физический смысл?
4. Основные положения теории Друде-Лоренца.
5. Сформулируйте и запишите законы Ома и Джоуля – Ленца в интегральной и дифференциальной формах.
6. В чем состоит теория электропроводности полупроводников?
7. В чем состоит теория электропроводности металлов?
8. Формирование барьера Шоттки при контакте металла с полупроводником.
9. Что такое работы выхода электронов из металла?
10. Как влияет работа выхода на величину барьера Шоттки?
11. Зонная диаграмма барьера Шоттки.

### **Контрольные вопросы**

1. Электропроводность металлов;
2. Работа выхода электронов из металлов.

### **Тесты для самостоятельной работы**

#### **1. Что из перечисленного характеризует металлы?**

- а) Упорядочное расположение атомов

- b) Высокая молекулярная масса
- c) Высокие проводящие свойства
- d) Ковкость
- e) Хрупкость

**2. Электропроводность и теплопроводность металлов являются:**

- a) зависимыми величинами;
- б) независимыми величинами.

**3. Отношение удельной теплопроводности к удельной проводимости в металлах при комнатной и более высоких температурах является:**

- a) постоянной величиной;
- б) непостоянной величиной.

**4. В квантовой теории проводимости металлов используется:**

- a) статистика электронов Максвелла-Больцмана;
- б) статистика электронов Ферми.

**5. Электрохимический потенциал металла:**

- a) зависит от уровня Ферми;
- б) не зависит от уровня Ферми.

**6. Избыток энергии, получаемый электронами за счет теплового движения, составляет:**

- a) сотни электронвольт;
- б) единицы электронвольт;
- в) сотые доли электронвольта.

**7. Распределение электронов по энергиям определяется:**

- a) только вероятностью заполнения уровней;
- б) только плотностью квантовых состояний в зоне;
- в) и тем, и другим.

**8. В процессе электропроводности в металлах принимают участие:**

- a) все свободные электроны;
- б) небольшая часть их, имеющая энергию, близкую к энергии Ферми.

**9. Технические металлы являются:**

- а) поликристаллами;
- б) монокристаллами.

**10. Число зародышей кристаллизации и их размер:**

- а) не зависит от степени переохлаждения;
- б) зависит от степени переохлаждения.

**11. Размер зерна:**

- а) зависит от химического состава и наличия примесей в металле;
- б) не зависит от химического состава и наличия примесей в металле.

**12. В идеальном кристалле металла длина свободного пробега электрона равна:**

- а) межатомному расстоянию;
- б) бесконечности.

**13. Температурная зависимость удельного сопротивления металлов:**

- а) линейна во всей области температур;
- б) имеет нелинейные участки в области низких температур.

**14. При плавлении металлов их удельное сопротивление:**

- а) не изменяется;
- б) изменяется незначительно;
- в) изменяется примерно в 1,5-2 раза.

**15. Наличие дефектов:**

- а) не влияет на удельное сопротивление металлов;
- б) влияет на удельное сопротивление металлов.

## **Раздел 7. Полупроводники**

### **Основные вопросы темы:**

- Собственная и примесная проводимость n- и p- полупроводников.
- Концентрация носителей заряда в полупроводнике.
- Электропроводность полупроводников.
- Работа pn-перехода.
- Виды пробоев pn-перехода.

### **Рекомендации по изучению темы:**

Материал по данному разделу, а также ответы на вопросы изложены в [1] – глава 10, [2] – главы 2, 4, 5, [3] – глава 10. Методические указания по выполнению лабораторных работ изложены в [8].

### **Примерные вопросы для обсуждения на практических (семинарских) занятиях**

**Тема 1.** Собственная и примесная проводимость n- и p- полупроводников.

**Тема 2.** Концентрация носителей заряда в полупроводнике.

**Тема 3.** Электропроводность полупроводников.

**Тема 4.** Работа pn-перехода. Виды пробоев pn-перехода.

### **Примерные вопросы для обсуждения на практических (лабораторных) занятиях**

1. В чем состоит теория электропроводности полупроводников?
2. Собственная и примесная проводимость полупроводников.
3. Уровень Ферми. Химический потенциал.
4. Как объясняется зависимость электропроводности полупроводников от температуры?
5. Зонная теория полупроводников.
6. Зависимость ширины запрещенной зоны полупроводника от температуры.
7. В чем состоит теория электропроводности полупроводников?
8. Собственная и примесная проводимость полупроводников.
9. Уровень Ферми. Химический потенциал.
10. Формирование pn-перехода.
11. Прямое и обратное включение pn-перехода.
12. ВАХ pn-перехода.
13. Пробой pn-перехода.

## **Контрольные вопросы**

1. Собственная примесная проводимость n- и p- полупроводников;
2. Концентрация носителей заряда в полупроводнике;
3. Электропроводность полупроводников;
4. Образование pn-перехода.

## **Тесты для самостоятельной работы**

### **1. Энергия Ферми (уровень Ферми) определяет:**

- а) максимальную энергию, которую может иметь электрон при 0К;
- б) среднюю энергию, которую может иметь электрон при 0К;
- в) минимальную энергию, которую может иметь электрон при 0К.

### **2.Примесная добавка:**

- а) уменьшает удельное сопротивления;
- б) увеличивает удельное сопротивление.

### **3. Чем больше удельное сопротивление сплава:**

- а) тем меньше его температурный коэффициент удельного сопротивления;
- б) тем больше его температурный коэффициент удельного сопротивления.

### **4. Температурный коэффициент удельного сопротивления в диапазоне от характеристической температуры до ниже температуры плавления:**

- а) постоянен;
- б) возрастает с ростом температуры;
- в) уменьшается с ростом температуры.

### **5. В твердом растворе:**

- а) сохраняется одна решетка с первоначальными размерами;
- б) присутствуют обе решетки;
- в) одна решетка, но с измененными первоначальными линейными размерами.



## **Раздел 8. Аморфные твердые тела**

### **Основные вопросы темы:**

- Структура аморфных твердых тел.
- Энергетический спектр аморфных твердых тел.
- Аморфные полупроводники, диэлектрики и металлы.

### **Рекомендации по изучению темы:**

Материал по данному разделу, а также ответы на вопросы изложены в [1] – глава 10, [3] – глава 15.

### **Примерные вопросы для обсуждения на семинарских занятиях**

**Тема 1.** Структура аморфных твердых тел.

#### **Контрольные вопросы**

1. Структура аморфных твердых тел;
2. Энергетический спектр аморфных твердых тел;
3. Аморфные полупроводники, диэлектрики, и металлы.