



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИДО

С.И. Качин

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.

## **ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

Методические указания и индивидуальные задания  
для студентов ИДО, обучающихся по направлению  
140400 «Электроэнергетика и электротехника»

*Составитель* **С.Н. Шуликин**

Кредиты	2
Лекции, часов	6
Лабораторные занятия, часов	4
Практические занятия, часов	2
Индивидуальные задания	1
Самостоятельная работа, часов	78
Формы контроля	зачет

Издательство  
Томского политехнического университета  
2012





УДК 621.38

Электротехническое материаловедение: методические указания и индивидуальные задания студентов ИДО, обучающихся по направлению 140400 «Электроэнергетика и электротехника» / сост. С.Н. Шуликин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 44 с.

Методические указания и индивидуальные задания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры электромеханических комплексов и материалов.

Зав. кафедрой, доцент, к. т. н. \_\_\_\_\_ А.С. Ивашутенко

### **Аннотация**

В методических указаниях даны методические указания к изучению дисциплины, указаны основные теоретические вопросы электротехнического материаловедения, приведен перечень лабораторных работ, даны варианты индивидуальных заданий и методические указания по их выполнению.

Методические указания подготовлены в соответствии с рабочей программой дисциплины на кафедре электромеханических комплексов и материалов.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ.....</b>	<b>4</b>
<b>2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>5</b>
<b>3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>17</b>
3.1. Тематика практических занятий.....	17
3.2. Перечень лабораторных работ для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме.....	17
3.3. Перечень лабораторных работ для студентов, изучающих дисциплину с применением ДОТ.....	18
<b>4. ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ.....</b>	<b>19</b>
4.1. Общие методические указания.....	19
4.2. Варианты задач и методические указания.....	19
<b>5. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ.....</b>	<b>28</b>
5.1. Вопросы для подготовки к экзамену.....	28
5.2. Образец экзаменационного билета для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме.....	33
5.3. Образец экзаменационного билета для студентов, изучающих дисциплину дистанционно.....	40
<b>6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>42</b>

## **1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Дисциплина относится к «Профессиональному циклу» базовой части модуля «Электротехника». Указанная дисциплина является одной из важнейших для модуля «Электротехника»; имеет как самостоятельное значение, так и является базой для ряда профилирующих дисциплин: «электрические машины автоматических устройств», «электрические и электронные аппараты систем автоматики», «микропроцессорные средства и системы управления».

## **2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Тема 1. Общие положения**

Классификация электротехнических материалов. Области применения проводниковых, полупроводниковых, магнитных и электроизоляционных материалов. Типы химической связи и её влияние на свойства материалов. Роль примеси и дефектов структуры на электрические и механические свойства твёрдых тел. Зонная теория твердых тел.

**Рекомендуемая литература:** [1, с. 4–9], [2, с. 9–16].

#### **Методические указания**

Необходимо усвоить предмет, задачи и возможности ЭТМ, общие понятия об электротехнических материалах. Усвоить понятие химической связи и изучить классификацию материалов. Изучить физические основы электропроводности и магнетизма.

#### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Дать определение электропроводности.
2. Дать классификацию веществ по электрическим свойствам
3. Что такое Ионная связь?
4. Что такое Ковалентная (атомная)?
5. Что такое Металлическая связь?
6. Что такое Молекулярная связь?
7. Что такое Водородная связь?
8. Дать определение энергии химических связей. Что определяется данной энергией?

### **Тема 2. Общие понятия и классификация веществ по магнитным свойствам**

Классификация магнитных материалов. Области применения магнитных материалов. Основные виды магнетизма. Ферро- и ферромагнетизм – физические основы возникновения. Основные характеристики магнитных материалов.

**Рекомендуемая литература:** [1, с. 10–19], [2, с. 267–275].

#### **Методические указания**

Необходимо изучить физические основы магнетизма, общие понятия формирования магнетиков. Усвоить основные свойства различных типов магнетиков. Изучить основные физические величины, характеризующие магнитные материалы.

**Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Из чего складывается магнитный момент атома.
2. Условия возникновения доменной магнитной структуры
3. Что такое домен?
4. Что такое магнитная индукция?
5. Что такое относительная магнитная проницаемость?
6. Что такое парамагнетик (его основные свойства)?
7. Что такое диамагнетик (его основные свойства)?
8. Что такое антиферромагнетик (его основные свойства)?
9. Что такое Ферримагнетик (его основные свойства)

**Тема 3. Основные свойства  
и характеристики магнитных материалов**

Процессы намагничивания ферро- и ферримагнетиков. Основная кривая намагничивания. Зависимости изменения основной магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля, частоты, температуры. Потери в магнитных материалах. Магнитомягкие, магнитотвердые и магнитные материалы специального назначения.

**Рекомендуемая литература:** [1, с. 20–31], [2, с. 275–299].

**Методические указания**

Необходимо изучить процесс намагничивания ферро- и ферримагнитных материалов переменным магнитным полем, механизм ориентации магнитных моментов доменов. Усвоить основные характеристики ферро- и ферримагнетиков. Изучить причины возникновения магнитных потерь в магнитных материалах в переменных полях. Изучить практические примеры магнитных материалов различных типов и области их применения.

**Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Описать процесс намагничивания ферро- и ферримагнетиков.
2. Описать процесс перемагничивания ферро- и ферримагнетиков.
3. В чем заключаются потери на гистерезис в ферро- и ферримагнетиках?
4. В чем заключаются потери на вихревые токи ферро- и ферримагнетиков? Указать способы их уменьшения.
5. Что называется точкой Нееля?
6. Привести и объяснить зависимость  $\mu = f(T^{\circ}\text{C})$  ферро- и ферримагнетиков.
7. Привести и объяснить зависимость  $\mu = f(H)$  ферро- и ферримагнетиков.

8. Привести и объяснить зависимость  $\mu = \varphi(f)$  ферро- и ферримагнетиков.
9. Магнитомягкие и магнитотвердые материалы, их отличие и область применения.
10. Описать явление магнитострикции и указать его использование.
11. Какие магнитные материалы могут быть использованы в устройствах высоких и сверхвысоких частот? Объяснить почему?
12. Указать особенности и способы получения текстурированных магнитных материалов.
13. Что из себя представляют магнитодиэлектрики? Области их применения.

#### **Тема 4. Общие представления о проводниковых материалах**

Типы проводниковых материалов. Проводники первого, второго рода. Общие вопросы проводниковых материалов. Классификация проводниковых материалов.

**Рекомендуемая литература:** [1, с. 32–34], [2, с. 12–24].

##### **Методические указания**

Необходимо изучить основные характеристики проводниковых материалов. Усвоить типы агрегатных состояний проводниковых материалов. Изучить строение проводниковых материалов.

##### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Какие вещества с точки зрения зонной теории твердых тел относятся к проводникам?
2. Указать отличие проводников I и II рода.
3. Твердый проводник согласно классической электронной теории металлов?
4. Что такое плазма?
5. Агрегатные состояния газов (основные свойства).

#### **Тема 5. Основные свойства и характеристики проводниковых материалов**

Удельное сопротивление или удельная проводимость проводников. Физические основы электропроводности проводников. Теплопроводность металлов. Термоэлектродвижущая сила. Температурный коэффициент линейного расширения проводников. Механические свойства проводников. Криопроводимость и сверхпроводимость. Поверхностный эффект.



**Рекомендуемая литература:** [1, с. 32–34], [2, с. 205–229].

### **Методические указания**

Необходимо изучить физические основы электропроводности проводников. Изучить зависимость удельного сопротивления металлов от температуры, изменение удельного сопротивления металлов при деформациях. Усвоить изменение удельного сопротивления сплавов от их компонентного состава. Изучить механизмы возникновения поверхностного эффекта, крио- и сверхпроводимости.

### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Описать характер изменения подвижности свободных носителей зарядов в металлических проводниках при изменении температуры.
2. Дать определения проводимости и удельного сопротивления. Назвать единицы измерения.
3. Описать характер изменения электропроводности проводников при изменении температуры.
4. Описать явление криопроводности.
5. Описать явление сверхпроводимости.
6. Описать характер изменения сопротивления проводников при всестороннем сжатии.
7. Что характеризует температурный коэффициент удельного сопротивления?
8. Описать характер изменения сопротивления проводников при всестороннем растяжении.
9. Описать характер изменения сопротивления проводников при механической обработке (волочение, резание).
10. Описать поверхностный (скин-) эффект в проводниковых материалах.
11. Указать условия возникновения термоЭДС в проводниковых материалах.
12. Описать влияние примесей на величину электропроводности проводниковых материалов.
13. Описать принцип работы проводниковой термопары.

### **Тема 6. Классификация проводниковых материалов**

Классификация проводниковых материалов по характеру применения в технике. Металлы и сплавы с высокой проводимостью. Металлы и сплавы с высоким удельным сопротивлением, Металлы и сплавы различного назначения.



**Рекомендуемая литература:** [1, с. 43–50], [2, с. 198–205].

### **Методические указания**

Необходимо изучить основные физические свойства проводниковых материалов различного назначения. Усвоить область применения материалов. Усвоить основные свойства и характеристики материалов термопар, пропоев.

### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Дать классификацию проводниковых материалов по области применения.
2. Какие материалы можно использовать для изготовления проводочных резисторов и почему?
3. Какие проводниковые материалы используются для изготовления электронагревательных элементов?
4. Описать требования и указать основные материалы, применяемые для изготовления скользящих контактов.
5. Описать требования и указать основные проводниковые материалы, используемые в электровакуумной технике.
6. Указать назначение и дать краткую характеристику припоям.

## **Тема 7. Физические процессы в полупроводниках**

Классификация полупроводниковых материалов, основные свойства и характеристики. Собственные и примесные полупроводники. Электропроводности полупроводниковых материалов. Изменение свойств полупроводников под действием внешних воздействующих факторов.

**Рекомендуемая литература:** [1, с. 52–63], [2, с. 43–51].

### **Методические указания**

Необходимо изучить физические основные электропроводности полупроводников. Усвоить механизмы основных физических процессов в полупроводниках. Изучить способы получения полупроводников  $n$  и  $p$  типов. Усвоить зонные диаграммы для примесных и собственных полупроводников. Изучить зависимость удельного сопротивления полупроводников, подвижности и концентрации свободных носителей заряда от температуры. Изучить зависимость электрического сопротивления полупроводника от напряженности электрического поля.

### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Какие вещества относятся к полупроводникам?
2. Какие типы химических связей характерны для полупроводниковых материалов?

3. Опишите механизм образования свободных носителей зарядов в собственном полупроводнике.
4. Перечислите основные типы полупроводниковых материалов.
5. Какие примеси являются донорными, а какие – акцепторными?
6. Дать описание зонной структуры полупроводника примесного типа.
7. Какие типы свободных носителей зарядов характерны для полупроводниковых материалов?
8. Опишите механизм образования свободных носителей зарядов в донорном полупроводнике.
9. Опишите механизм образования свободных носителей зарядов в акцепторном полупроводнике.
10. Как соотносятся энергии активации собственного и примесного полупроводников? Поясните на зонных диаграммах.
11. Опишите характер изменения подвижности свободных носителей зарядов в полупроводнике при изменении температуры.
12. Опишите характер изменения концентрации свободных носителей зарядов в примесном полупроводнике при изменении температуры.
13. Опишите характер изменения электропроводности в собственном полупроводнике при изменении температуры.
14. Опишите характер изменения электропроводности в примесном полупроводнике при изменении температуры.
15. Опишите характер изменения электропроводности в полупроводнике при изменении напряженности электрического поля.
16. Опишите физическую сущность туннельного эффекта.

### **Тема 8. Термоэлектрические явления в полупроводниках, Эффект Холла**

Типы термоэлектрических эффектов в полупроводниках, основные свойства. Эффект Зеебека. ТермоЭДС в полупроводниках. Эффект Пельтье. Термоэлектрический генератор и холодильник. Эффект Томсона. Эффект Холла.

**Рекомендуемая литература:** [1, с. 63–70], [2, с. 239–245].

#### **Методические указания**

Необходимо изучить физические основы механизмов термоэлектрических явлений в полупроводниках. Усвоить способы определения типа электропроводности полупроводника (эффект Зеебека). Изучить принцип действия термоэлектрического генератора и холодильника.

Усвоить физико-расчетные методы определения знака, плотности и «холловской» подвижности носителей заряда полупроводника.

**Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Опишите эффект Зеебека.
2. Опишите эффект Пельтье.
3. Опишите эффект Томпсона.
4. Опишите эффект Холла.
5. определения типа электропроводности полупроводника с помощью эффекта Зеебека.
6. Способ определения типа электропроводности полупроводника с помощью эффекта Холла.
7. Опишите принцип работы термоэлектрического генератора.
8. Опишите принцип работы термоэлектрического холодильника.
9. На чём основан принцип работы полупроводникового варистора?
10. На чём основан принцип работы полупроводникового термистора?

**Тема 9. Оптические и фотоэлектрические явления  
в полупроводниках**

Взаимодействие света с веществом полупроводника с передачей части (или всей) энергии кванта веществу. Поглощение света полупроводниками. Спектры поглощения и отражения. Фотопроводимость. Люминесценция полупроводников.

**Рекомендуемая литература:** [1, с. 70–78], [2, с. 245–251].

**Методические указания**

Необходимо изучить физические основы механизмов поглощения света в полупроводнике. Усвоить определения собственного, экситонного, примесного, решеточного и фононного поглощения в полупроводниках. Изучить физические основы фотопроводимости, изменение концентрации при освещении с учетом рекомбинации. Изучить физические основы люминесценции. Усвоить классификацию видов люминесценции по способам возбуждения вещества. Усвоить определения спонтанной, метастабильной и рекомбинационной люминесценции и изучить механизмы их возникновения.

**Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Опишите характер изменения электропроводности полупроводника при изменении освещенности.
2. Дать определения спектра поглощения и спектра отражения.

3. Перечислить механизмы поглощения света полупроводниками.
4. Опишите явление фотопроводимости.
5. Опишите механизм люминесценции полупроводников.
6. На чем основан принцип работы полупроводникового лазера?

### **Тема 10. Контакт электронного и дырочного полупроводника. Свойства электронно-дырочного перехода**

Электронно-дырочный или ( $p-n$ )-переход. Физические основы полупроводникового выпрямителя. Модель полупроводника с электронной и дырочной электропроводностью.

**Рекомендуемая литература:** [1, с. 78–80], [2, с. 251].

#### **Методические указания**

Необходимо изучить способы получения электронно-дырочного перехода. Изучить принцип действия полупроводникового выпрямителя. Усвоить механизм перераспределения носителей зарядов под действием внешнего электрического поля при наличии электронно-дырочного перехода.

#### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Опишите физическую сущность ( $p-n$ )-перехода.
2. Опишите механизм возникновения диффузионного поля.
3. Опишите принцип действия полупроводникового выпрямителя.
4. Опишите механизм перераспределения зарядов на основе модели полупроводника с электронной и дырочной электропроводностью.

### **Тема 11. Полупроводниковые материалы и технология их получения**

Свойства наиболее распространенных в практике полупроводниковых материалов. Полупроводниковые соединения типа  $A^{II}B^{VI}$ . Полупроводниковые соединения типа  $A^{III}B^V$ . Оксидные полупроводники и халькогениды свинца. Технология получения полупроводниковых материалов.

**Рекомендуемая литература:** [1, с. 80–94], [2, с. 251–267].

#### **Методические указания**

Необходимо усвоить основные свойства и область применения простых полупроводников (германий, кремний, селен, теллур), полупроводниковых соединений (типа  $A^{II}B^{VI}$ ,  $A^{III}B^V$ ) и оксидных полупроводников (оксиды металлов). Изучить метод выращивания монокристаллов из расплава (метод Чохральского), методом Бриджмена–Стокбаргера, метод зонной перекристаллизации. Усвоить метод выра-

щивания из газообразной фазы и метод взаимодействия исходных компонентов, метод сублимации.

### Вопросы и задания для самоконтроля

1. Приведите примеры полупроводниковых соединений типа  $A^{II}B^{VI}$  и опишите их свойства, область применения.
2. Приведите примеры полупроводниковых соединений типа  $A^{III}B^{V}$  и опишите их свойства, область применения.
3. Приведите примеры оксидных полупроводников и опишите их свойства, область применения.
4. Приведите примеры простых полупроводников и опишите их свойства, область применения.
5. Опишите метод зонной перекристаллизации.
6. Опишите метод Чохральского.
7. Опишите метод Бриджмена–Стокбаргера.

### Тема 12. Физические процессы в диэлектриках

Основные понятия и общие представления о диэлектрических материалах. Удельное объемное и поверхностное сопротивления. Ток сквозной, смещения и абсорбции. Электропроводность газов, жидкостей и твердых диэлектриков. Общие положения поляризации диэлектриков. Основные виды поляризации. Зависимость поляризации от внешних факторов. Общие понятия диэлектрических потерь. Виды диэлектрических потерь. Диэлектрические потери в газах, жидкостях, твердых диэлектриках. Основные понятия о пробое диэлектриков. Пробой газов, жидких и твердых диэлектриков.

**Рекомендуемая литература:** [1, с. 97–168], [2, с. 16–73].

### Методические указания

Необходимо усвоить основные свойства и характеристики диэлектрических материалов. Усвоить закономерности изменения тока, протекающего через диэлектрик. Изучить механизмы электропроводности газообразных, жидких и твердых диэлектриков. Изучить температурные зависимости изменения электропроводности диэлектриков различного агрегатного состояния. Усвоить влияние увлажнения на величину электропроводности. Усвоить основные характеристики, описывающие явление поляризации в диэлектриках. Усвоить основные виды поляризации и изучить механизмы их возникновения. Изучить зависимость поляризации от внешних факторов для основных видов диэлектриков. Усвоить основные характеристики, описывающие диэлектрические потери. Усвоить основные виды диэлектрических потерь и изучить меха-



низмы их возникновения. Изучить диэлектрические потери в газообразных, жидких и твердых диэлектриках зависимости их изменения от внешних факторов. Усвоить основные определения, описывающие пробой диэлектриков. Изучить пробой в газах, жидкостях, твердых диэлектриках и механизмы их развития.

### **Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Какими электрофизическими характеристиками описывается поведение диэлектриков в электрическом поле?
2. Какие вещества относятся к полярным, а какие к неполярным диэлектрикам?
3. Что называется собственным, а что индуцированным электрическим моментом?
4. Описать процесс электронной поляризации в диэлектриках.
5. Описать процесс ионной поляризации в диэлектриках.
6. Описать процесс дипольно-релаксационной поляризации в диэлектриках.
7. Описать процесс ионно-релаксационной поляризации в диэлектриках.
8. Описать процесс миграционной поляризации в диэлектриках.
9. Описать процесс спонтанной поляризации в диэлектриках.
10. Как определить диэлектрическую проницаемость диэлектрика, представляющего собой физическую смесь различных ингредиентов?
11. Перечислите быстрые и медленные виды поляризации. Чем они отличаются?
12. В каких диэлектриках наблюдаются быстрые, а в каких – релаксационные виды поляризации?
13. Назвать основные типы носителей заряда и механизм электропроводности в газообразных, жидких и твердых диэлектриках.
14. Почему при измерении величины тока, протекающего через диэлектрик, необходимо проводить измерения через некоторое время после подачи напряжения?
15. Дайте определение удельному объёмному и удельному поверхностному сопротивлению. В каких единицах измеряются эти величины?
16. Описать вольт-амперную характеристику газов.
17. Описать характер изменения тока в диэлектрике при подаче на него неизменяющегося во времени напряжения.
18. Описать характер изменения электропроводности диэлектрика при изменении температуры.
19. Описать характер изменения электропроводности увлажненных диэлектриков при изменении температуры.

20. Описать виды диэлектрических потерь.
21. Описать характер изменения  $\tan \delta$  неполярного диэлектрика при изменении температуры.
22. Описать характер изменения  $\tan \delta$  неполярного диэлектрика при изменении частоты приложенного электрического поля.
23. Описать характер изменения  $\tan \delta$  полярного диэлектрика при изменении температуры.
24. Описать характер изменения  $\tan \delta$  полярного диэлектрика при изменении частоты приложенного электрического поля.
25. Описать характер изменения  $\tan \delta$  пористого диэлектрика при изменении напряженности электрического поля.
26. Какие существуют виды пробоя диэлектриков?
27. Описать лавинный пробой в газах.
28. Описать лавинно-стримерный пробой в газах.
29. Описать механизм пробоя увлажненных жидких диэлектриков.
30. Описать механизм пробоя жидких диэлектриков, загрязненных твердыми примесями.
31. Как влияет полярность в системе электродов «игла–плоскость» на величину пробивного напряжения газоразрядного промежутка?
32. Описать закон Пашена.
33. Описать электрический пробой твердых диэлектриков.
34. Описать электротепловой пробой диэлектриков.
35. Описать ионизационный пробой диэлектриков.

### **Тема 13. Механические, тепловые и химические свойства диэлектриков**

Основные понятия и общие представления о не электрических свойствах диэлектрических материалах. Механические свойства. Тепловые свойства. Влажностные свойства. Энергия смачивания, поверхностного натяжения и краевого угол смачивания. Физико-химические свойства.

**Рекомендуемая литература:** [1, с. 168–184], [2, с. 73–90].

#### **Методические указания**

Необходимо изучить основные механические свойства диэлектрических материалов. Усвоить понятия хрупкости и эластичности. Изучить вязкость и способы её определения. Изучить понятие нагревостойкости и холодостойкости. Усвоить классы нагревостойкости диэлектрических материалов и их характеристики. Изучить теплопроводность диэлектрических материалов и её характеристики. Усвоить понятие гигроскопичности и влагопроницаемости. Изучить способ определения энер-



гии смачивания, энергии поверхностного натяжения и краевого угла смачивания методом погружения. Изучить растворимость, химостойкость, кислотное число, радиационную стойкость и светостойкость диэлектрических материалов.

**Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Какими основными характеристиками описываются механические свойства диэлектриков?
2. Описать методы определения вязкости жидких диэлектриков.
3. Описать методы определения смачивающих свойств жидкими диэлектриками поверхности твердого тела.
4. Описать классы нагревостойкости систем изоляции.
5. Описать температурный индекс диэлектриков.
6. Описать методы определения твердости диэлектриков.
7. Описать основные Физико-химические свойства диэлектриков.

**Тема 14. Классификация диэлектрических материалов**

Виды классификации диэлектриков. Свойства и области применения диэлектриков различных квалификационных групп.

**Рекомендуемая литература:** [1, с. 184–190], [2, с. 90–186].

**Методические указания**

Необходимо виды классификации диэлектрических материалов. Усвоить понятия активных и пассивных диэлектриков. Изучить свойства основных групп твердых, жидких и газообразных диэлектриков.

**Вопросы и задания для самоконтроля**

1. Дайте классификацию диэлектрических материалов.
2. Дайте понятия активных и пассивных диэлектриков
3. Опишите виды газообразных диэлектриков, их свойства и область применения
4. Опишите виды жидких диэлектриков, их свойства и область применения
5. Опишите виды твердых диэлектриков, их свойства и область применения

### **3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ**

#### **3.1. Тематика практических занятий**

##### **Тема 1. Современное состояние электротехнических материалов**

1. Проводниковые материалы.
2. Полупроводниковые материалы.
3. Диэлектрические материалы.
4. Магнитные материалы

##### **Рекомендуемая литература**

1. Карабасов Ю.С. Новые материалы. – М.: МИСИС, 2002. – 736 с.
2. Харрис П. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века: пер. с англ./П. Харрис. – М.: Техносфера, 2003. – 336 с.
3. Герасименко Н.Н., Пархоменко Ю.Н. Кремний – материал нано-электроники. – М: Техносфера, 2006. – 352с.
4. Стародубцев Ю.Н. Магнитомягкие материалы. Энциклопедический словарь-справочник. – М.: Техносфера, 2011. – 664с.
5. Ханнинка Р. Наноструктурные материалы. – М.: Техносфера, 2009. – 488 с.
6. Ю-Винг Май, Жонг-Жен Ю. Полимерные нанокомпозиты. – М.: Техносфера, 2011 – 688 с.
7. Алиев И.И. Электротехнические материалы и изделия. – М.: РадиоСофт, 2005. – 351 с.

#### **3.2. Перечень лабораторных работ для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме**

В данном разделе приведен перечень лабораторных работ для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме (КЗФ).

Лабораторные работы проходят во время сессии в Томске. Название лабораторных работ, их число и последовательность выполнения определяются маршрутом и календарным планом, составленным преподавателем.

Методические указания к выполнению лабораторных работ приведены в [4].

## Тематика лабораторных работ

### Раздел «Магнитные материалы»

1. Изучение влияния температуры на величину относительной магнитной проницаемости ферро- и ферромагнитных материалов.
2. Изучение основных магнитных характеристик ферро- и ферромагнитных материалов.
3. Определение величины магнитных потерь на гистерезис.

### Раздел «Проводниковые материалы»

4. Изучение температурной зависимости сопротивления проводника.
5. Контактные явления и термоэлектродвижущая сила.
6. Изучение скин-эффекта резонансным методом.

### Раздел «Полупроводниковые материалы»

7. Изучение температурной зависимости сопротивления полупроводника.
8. Изучение влияния напряжения на величину электрического сопротивления полупроводников.
9. Изучение эффекта Холла в полупроводниках.
10. Фотоэлектрические явления в полупроводниках.

### Раздел «Диэлектрические материалы»

11. Изучение температурной зависимости твердого диэлектрика.
12. Исследование влияния температуры на величину относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь твердых диэлектриков.
13. Пробой твердых диэлектриков.
14. Пробой жидких диэлектриков.

### 3.3. Перечень лабораторных работ для студентов, изучающих дисциплину с применением ДОТ

Студенты, изучающие дисциплину с применением дистанционных образовательных технологий выполняют одну лабораторную работу **«Изучение основных свойств ферро- и ферромагнитных материалов»**, используя методические указания, приведенные в [5].

## 4. ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

### 4.1. Общие методические указания

В соответствии с учебным графиком предусмотрено выполнение одного индивидуального домашнего задания. Выполнение этого задания необходимо для закрепления теоретических знаний и приобретения практических навыков расчетных работ.

Индивидуальное домашнее задание включает решение четырех типовых задач по основным разделам дисциплины.

**Номер варианта определяется по последним двум цифрам номера зачетной книжки.** Например, если номер зачетной книжки 3-5А11/12, то номер варианта задания равен 12. Если две последние цифры составляют число большее 35, то из этого числа вычитается число 35 столько раз, чтобы остаток стал меньше или равен 35. Например, две последние цифры составляют число 75, тогда  $75 - 35 = 40$ ,  $40 - 35 = 5$ , и студент выполняет вариант № 5.

### 4.2. Варианты задач и методические указания

#### 4.2.1. Задача № 1 по теме «Магнитные материалы»

Для заданного варианта начальных данных (см. табл. 1) найти индуктивность катушки  $L_M$  с тороидальным сердечником при температурах  $T_1$  и  $T_2$ :

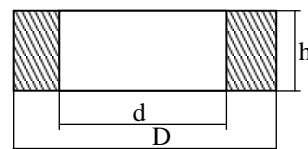
1) определить величину относительной магнитной проницаемости ( $\mu$ ) при температурах  $T_1$  и  $T_2$ ;

2) для заданных параметров тороида рассчитать геометрическую индуктивность:

$$L_0 = \mu_0 \cdot \frac{(n^2 \cdot S)}{l_{cp}}$$

где  $l_{cp} = \pi \cdot \frac{(D+d)}{2}$ ,  $S = h \cdot \frac{(D-d)}{2}$ ;  $\mu_0$  – магнитная постоянная  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  [Гн/м],  $n$  – число витков катушки,  $l_{cp}$  – средняя длина витка [м], площадь поперечного сечения тороида [м<sup>2</sup>].

3) определить  $L_M = \mu \cdot L_0$  при температурах  $T_1$  и  $T_2$ .



$h$  – высота тороида,  
 $d$  – внутренний диаметр,  
 $D$  – внешний диаметр.

Таблица 1

**Начальные данные для задачи № 1**

№ вар.	Марка феррита	n	D×d×h (мм)	T <sub>1</sub> °C	T <sub>2</sub> °C
1	100 НН	40	17×10×6,5	– 20	+ 50
2	400 НН	50	20×12×6,5	– 10	+ 40
3	400 НН1	60	15×7×4,8	0	+ 50
4	600 НН	70	24×13×7	+ 10	+ 40
5	1000 НН	80	27×15×6	– 30	+ 20
6	2000 НН	90	36×25×9,7	– 40	+ 40
7	1000 НМ	100	44×28×10,3	– 20	+ 40
8	1500 НМ	110	44×28×7,2	– 50	+ 50
9	2000НМ	120	64×40×14	– 30	+ 40
10	3000 НМ	130	55×32×8,2	– 20	+ 50
11	100 ВН	140	55×32×9,7	– 10	+ 50
12	150 ВН	150	64×40×9,7	– 20	+ 40
13	700 НМ	160	40×25×7,5	– 30	+ 50
14	1000 НМ3	170	32×16×12	– 20	+ 50
15	2000 НМ1	145	28×16×9	0	+110
16	3000 НМ	200	125×80×8	– 25	+95
17	4000 НМ	95	10×6×3	–37	+88
18	50 ВН	105	15×5×5,5	– 43	65
19	30 ВН	98	10×6×4,5	– 32	+75
20	20 ВН	77	10×6×3	– 41	+77
21	6000 НМ	85	12×5×5,5	– 27	+107
22	1500 НМ3	135	20×10×5	– 31	+68
23	300 ННИ	43	10×5×2,5	– 40	+120
24	300 ННИ1	23	7×4×2	– 30	+130
25	350 ННИ	31	10×6×2	– 20	+128
26	450 ННИ	120	20×10×5	– 10	110
27	1000 ННИ	73	20×10×7,5	– 27	125
28	1100 ННИ	95	16×10×4,5	– 25	+115
29	1100 НМИ	130	20×12×6	– 28	+32
30	10 ВНП	25	7×4×1,5	– 29	+38
31	35 ВНП	72	12×5×5,5	0	+48
32	55 ВНП	110	20×10×5	– 48	+35
33	60 ВНП	37	10×6×2	– 15	+135
34	65 ВНП	28	5×3×1	– 17	+45
35	7 ВН	44	7×4×2,5	– 12	+49

**Методические указания**

В первую очередь необходимо определить начальные данные для выполнения расчетного задания по табл. 1. Для заданного материала (марки феррита) по справочным данным из любого источника инфор-

мации (необходимо указать источник, из которого вы взяли данную информацию) определите соответствующие значения величины относительной магнитной проницаемости при температурах  $T_1$  и  $T_2$  (табл. 1). Согласно расчетным формулам определить величину геометрической индуктивности и индуктивности катушки для температур  $T_1$  и  $T_2$  (табл. 2) При расчете все геометрические размеры представить в системе СИ.

#### 4.2.2. Задача 2 по теме «Проводниковые материалы»

Для заданного варианта начальных данных (см. табл. 2) рассчитать потери мощности в линии электропередач при  $T_1$  °С и  $T_2$  °С:

1. Определить ток провода:

$$I = \frac{P}{U}$$

2. Определить сопротивление провода для двух заданных температур:

2.1. Рассчитать  $R$  для железных проволок:

$$R_{Fe} = \frac{\rho_{t\_Fe} \cdot l_{Fe}}{S_{Fe} \cdot n_{Fe}}$$

где  $\rho_t$  – удельное объемное сопротивление при заданной температуре [Ом·м],  $l$  – длина [м],  $S$  – площадь поперечного сечения проволоки [м<sup>2</sup>],  $n$  – число проволок.

$$\rho_{t\_Fe} = \rho_{20} \cdot [1 + TK_p (T - 20)]$$

где  $\rho_{20}$  – удельное объемное сопротивление при температуре 20 °С,  
 $TK_p$  – температурный коэффициент сопротивления [1/°С].

2.2. Рассчитать  $R$  для алюминиевых проволок, аналогично расчету для железных проволок.

2.3. Рассчитать  $R$  для сталь-алюминиевого провода:

$$R_{общ} = \frac{R_{Fe} \cdot R_{Al}}{R_{Fe} + R_{Al}}$$

3. Определить потери мощности:

$$\Delta P = \Delta U \cdot I = I^2 \cdot R_{общ}$$



Таблица 2

**Начальные данные для задачи № 2**

№ вар.	Провод	Fe nxd, мм	Al nxd, мм	U <sub>p</sub> , кВ	P <sub>уст</sub> , кВт	T <sub>1</sub> °C	T <sub>2</sub> °C	l, км
		d – диаметр проволоки, n – число проволок						
1.	АСК (185)	7 x 2,5	28 x 2,87	35	560	– 10	+ 50	30
2.	АСК (300)	7 x 3,2	28 x 3,66	110	640	– 20	+ 40	25
3.	АСК (240)	7 x 2,8	28 x3,29	110	720	– 15	+ 45	21
4.	АСК (400)	19 x2,8	28 x 4,24	220	840	– 17	+ 37	27
5.	АСК (50)	1 x 3,2	6 x3,2	0,4	120	– 35	+ 30	20
6.	АСО (150)	7 x 1,8	24 x 2,8	6	180	– 50	+ 27	18
7.	АСО (185)	7 x 2,0	24 x 3,1	10	240	– 45	+ 25	16
8.	АСО (240)	7 x 2,4	24 x 3,59	10	320	– 37	+ 31	14
9.	АСО (300)	7 x 2,6	54 x 2,62	35	380	– 27	+ 33	12
10.	АСО (400)	7 x 3,0	54 x 3,04	110	540	– 36	+ 28	10
11.	АСО (500)	19 x2,0	54 x 3,37	220	860	– 41	+ 22	5
12.	АСО (600)	19 x2,2	54 x 3,69	500	2400	– 20	+ 42	7
13.	АСО (700)	19 x2,5	54 x 4,1	500	2800	– 10	+ 50	8
14.	АСУ (120)	7 x 2,2	30 x 2,2	35	480	0	+ 40	11
15.	АСУ (150)	7 x 2,5	30 x 2,5	35	620	– 19	+ 36	26
16.	АСУ (185)	7 x 2,8	30 x 2,8	110	720	– 18	+ 41	24
17.	АСУ (240)	7 x 3,2	30 x 3,2	110	780	– 28	+ 38	23
18.	АСУ (300)	19 x2,2	30 x 3,55	220	820	– 21	+ 29	19
19.	АСУ (400)	19 x2,5	30 x 4,12	220	960	– 15	+ 44	22
20.	АС (400)	19 x2,2	28 x 4,24	500	1200	– 5	+ 51	17
21.	АС (300)	7 x 3,2	28 x 3,66	220	760	– 3	+ 47	9
22.	АС (240)	7 x2,8	28 x 3,29	110	840	– 12	+ 38	10
23.	АС (185)	7 x 2,5	28 x 2,87	35	360	– 19	+ 39	13
24.	АС (150)	7 x 2,2	28 x 2,59	10	280	– 23	+ 27	7
25.	АС (120)	7 x 2,0	28 x 2,29	6	340	– 36	+ 42	6
26.	АС (95)	1 x 4,5	6 x 4,5	0,4	198	– 21	+ 49	4
27.	АС (70)	1 x 3,8	6 x 3,8	0,4	92	– 43	+ 25	12
28.	АС (50)	1 x 3,2	6 x 3,2	0,4	73	– 25	+ 43	3
29.	АСО(150)	7 x 1,8	24 x 2,8	35	520	– 20	+ 37	6
30.	АСО(185)	7 x 2,0	24 x 3,1	35	640	– 35	+ 28	7
31.	АСО(240)	7 x 2,4	24 x 3,59	35	680	– 20	+ 30	8
32.	АСО(300)	7 x 2,6	54 x 2,62	110	820	– 10	+ 40	9
33.	АСО(400)	7 x 3,0	54 x 3,04	110	780	– 15	+ 35	10
34.	АСО(500)	19x 2,0	54 x 3,37	220	1200	– 17	+ 37	11
35.	АСО(600)	19x 2,2	54 x 3,69	500	1600	– 27	+ 27	12



### Методические указания

Согласно варианту определите начальные данные, необходимые для выполнения расчетного задания (табл. 2). Для заданного материала проволок жилы провода (Al и Fe) по справочным данным из любого источника информации (необходимо указать источник, из которого вы взяли данную информацию) определите соответствующие значения удельного электрического сопротивления и температурного коэффициента сопротивления. Согласно расчетным формулам определите величину электрического сопротивления для температур  $T_1$  и  $T_2$  (табл. 2) для каждого материала проволок (Al и Fe). По расчетным формулам определите общее сопротивление сталь-алюминиевого провода (как параллельное соединение сопротивлений Al и Fe проволок) на основании чего рассчитайте величину потерь мощности.

#### 4.2.3. Задача № 3 по теме «Полупроводниковые материалы»

Для заданного варианта начальных данных (см. табл. 3):

1. Определить сопротивление и температурный коэффициент.

$$R_t = R_0 \cdot \exp \frac{\Delta E}{2kT},$$

где  $\Delta E$  – энергия активации процесса электропроводности (справочные данные) [эВ],  $k$  – постоянная Больцмана [эВ/К],  $T$  – температура [К] ( $1[\text{K}] = 273 + 1[^\circ\text{C}]$ ).

$$\alpha_t = \frac{dR}{RdT} = \frac{1}{R_0} \cdot \frac{R_t - R_0}{T - T_0}$$

2. Построить зависимость  $\ln R_t = f\left(\frac{1}{T}\right)$ .

Таблица 3

#### Начальные данные для задачи № 3

№ вар.	п/п*	примесь	$R_0$ , Ом	$T$ , °C
1.	к	B (бор)	0,76	75
2.	к	P(фосфор)	0,43	88
3.	к	Al	0,95	103
4.	к	Ga(галлий)	1,01	121
5.	к	In(индий)	1,81	132
6.	к	As(мышьяк)	0,98	103
7.	к	Sb(сурьма)	0,39	92
8.	к	Bi(висмут)	0,78	98
9.	к	Li(литий)	0,33	83

№ вар.	п/п*	примесь	$R_0$ , Ом	$T$ , °С
10.	к	Au(золото) р	1,83	137
11.	к	собственный	4,23	142
12.	г	B (бор)	0,27	81
13.	г	Al	0,47	105
14.	г	собственный	3,21	125
15.	г	Ga (галлий)	0,52	84
16.	г	In (индий)	0,63	87
17.	г	P(фосфор)	0,58	93
18.	г	As(мышьяк)	0,67	101
19.	г	Sb (сурьма)	0,35	86
20.	г	Li (литий)	0,23	63
21.	г	Mn(p)	4,8	107
22.	г	Ni (p)	5,82	123
23.	к	B (бор)	0,73	63
24.	к	P(фосфор)	0,41	78
25.	к	Al	0,92	111
26.	к	Ga(галлий)	1,07	93
27.	к	In(индий)	1,87	103
28.	к	As(мышьяк)	0,94	113
29.	к	Sb(сурьма)	0,43	97
30.	к	Bi(висмут)	0,75	57
31.	к	Li (литий)	0,39	121
32.	к	Au(золото) р	2,01	137
33.	к	собственный	4,41	98
34.	к	As(мышьяк)	0,97	111
35.	к	Sb(сурьма)	0,41	105

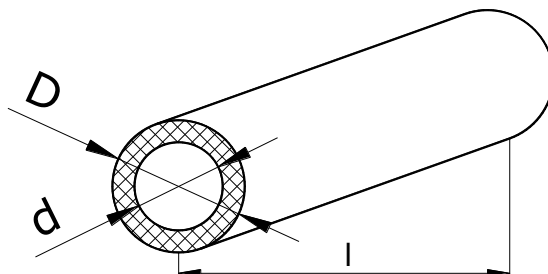
п/п\* : к– кремний, г – германий

### Методические указания

Согласно заданному варианту определите начальные данные, необходимые для выполнения расчетного задания (табл. 3). Для заданного материала примеси в полупроводнике по справочным данным из любого источника информации (необходимо указать источник, из которого вы взяли данную информацию) определите соответствующие значения энергии активации процесса электропроводности. Согласно расчетным формулам определите величину электрического сопротивления для температуры  $T$  (табл. 3) и температурный коэффициент. Повторите расчет для 5÷10 температур (от 20 °С, до  $T$ ) и по полученным результатам постройте зависимость  $\ln R_t = f(1/T)$ .

#### 4.2.4. Задача 4 по теме «Диэлектрические материалы»

Для заданного варианта начальных данных (см. табл. 4) рассчитайте емкость и диэлектрические потери в изоляции коаксиального кабеля:



1. Определите емкость изоляции коаксиального кабеля

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot l}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}, [\Phi]$$

где  $\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость материала изоляции,  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная [Ф/м],  $D, d$  – диаметры [м],  $l$  – длина кабеля [м].

2. Определите удельные диэлектрические потери в изоляции коаксиального кабеля

$$P_{\text{уд}} = \frac{U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta}{V}, [\text{Вт/м}^3]$$

где  $U$  – напряжение [В],  $\omega = 2\pi \cdot f$  ( $f$  – частота напряжения, Гц),  $\operatorname{tg} \delta$  – тангенс угла диэлектрических потерь на заданной частоте (справочное значение).

$$V = l \cdot \pi \cdot \frac{D^2 - d^2}{4}, [\text{м}^3].$$

Таблица 4

**Начальные данные для задачи № 4**

№ вар.	$f_1$ , (Гц)	$f_2$ , (кГц)	$U_p$ , (кВ)	$D$ (мм)	$d$ (мм)	$l$ (м)	Материал
1	50	50	1,5	9,0	5,6	2000	ПЭТФ (лавсан) Полиэтилентерефталат
2	10 0	25	1,2	9,0	6,3	1750	ПВК Поливинилкарбазол
3	15	75	1,0	7,6	4,75	1600	ПС (СНП)-2 полистирол

№ вар.	$f_1$ , (Гц)	$f_2$ , (кГц)	$U_p$ , (кВ)	$D$ (мм)	$d$ (мм)	$l$ (м)	Материал
	0						
4	60	60	1,15	7,6	5,00	1500	ПС (СВ) полистирол
5	35	82	0,9	7,6	5,25	1450	ПС (МС) полистирол
6	40	90	2,0	12,0	7,25	1900	ПС(СА) полистирол
7	40 0	35	3,0	5,6	1,25	1,5	ПММА (оргстекло) По- лиметилметакрил
8	22 0	100	0,8	5,6	2,75	1350	ПТФЭ Ф-4 политетраф- торэтилен
9	34 0	15	0,75	7,6	3,25	1480	ПТФХЭ Ф-3 политриф- торхлорэтан
10	20 0	45	0,65	7,6	4,0	1200	ПВХ поливинилхлорид
11	29 0	52	0,5	7,6	4,75	2200	ПП полипропилен
12	33 0	68	0,85	9,0	3,75	2500	ПЭВД – полиэтилен вы- сокого давления
13	44 0	73	10	70	10	0,9	СК-1 Стеатитовая кера- мика
14	20	1	35	95	9,3	1,1	Форстерит США (Алси- маг)
15	80	5	6	83	12,2	0,85	АФ-П Форстерит СССР
16	12 0	70	0,4	5,6	0,4	250	ПЭНД – полиэтилен низ- кого давления
17	13 0	66	0,35	5,6	0,32	300	ПЭСД – полиэтилен среднего давления
18	14 0	93	0,2	9,0	0,76	420	ПЭВД – полиэтилен вы- сокого давления
19	18 0	12	0,6	5,6	0,27	180	Хлорированный ПЭ
20	25 0	37	0,48	9,0	0,98	310	ПВДР Поливинилиден- фторид
21	60 0	43	0,32	3,0	1,05	280	ПС (УП-1э) полистирол
22	42 0	51	0,43	2,2	0,41	150	ПС (МСН) полистирол
23	90	102	0,15	2,95	1,05	370	ПП полипропилен
24	50	100 0	1	33,0	5,0	1500	ПЭВД – полиэтилен вы- сокого давления
25.	10	500	1,5	33,0	9,59	2000	ПП полипропилен
26	25	300	1,75	44,0	6,6	1750	ПВХ поливинилхлорид
27	30	400	2,0	44,0	12,67	1800	ПТФХЭ Ф-3 Политриф- торхлорэтан
28	40	200	2,2	44,0	12,2	1300	ПТФЭ Ф-4 Политетраф- торэтилен
29	45	100	0,8	13,0	3,05	1100	ПММА (оргстекло) По-

№ вар.	$f_1$ , (Гц)	$f_2$ , (кГц)	$U_p$ , (кВ)	$D$ (мм)	$d$ (мм)	$l$ (м)	Материал
							лиметилметакрил
30	55	600	0,75	17,3	4,0	1000	ПС (СА) полистирол
31	60	700	0,9	17,3	2,63	950	ПС (МС) полистирол
32	70	800	2,5	33,0	9,34	830	ПС (СВ) полистирол
33	80	900	2,3	33,0	9,31	750	ПС (СНП-2) полистирол
34	10 0	350	1,8	24,0	6,7	680	ПВК поливинлкарбозол
35	65	250	1,2	24,0	7,0	520	ПЭТФ (лавсан) полиэтилентерефталат

### Методические указания

Согласно заданному варианту определите начальные данные, необходимые для выполнения расчетного задания (табл. 4). Для заданных частот ( $f_1, f_2$ ) по справочным данным из любого источника информации (необходимо указать источник, из которого вы взяли данную информацию) определите соответствующие значения диэлектрической проницаемости ( $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$ ) и тангенс угла диэлектрических потерь ( $\operatorname{tg}\delta_1$  и  $\operatorname{tg}\delta_2$ ). С использованием заданных характеристик материалов для каждой из частот по соответствующим расчетным формулам определите удельные диэлектрические потери в изоляции. При расчете все геометрические размеры представьте в системе СИ.

## 5. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ

После завершения изучения дисциплины студенты сдают экзамен.

К экзамену допускаются только те студенты, у которых зачтено индивидуальное задание и лабораторные работы.

Образец экзаменационного билета для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме, приведен в разделе 5.2.

### 5.1. Вопросы для подготовки к экзамену

1. Какими электрофизическими характеристиками описывается поведение диэлектриков в электрическом поле?
2. Какие вещества относятся к полярным, а какие к неполярным диэлектрикам?
3. Что называется собственным, а что индуцированным электрическим моментом?
4. Процесс электронной поляризации в диэлектриках.
5. Процесс ионной поляризации в диэлектриках.
6. Процесс дипольно-релаксационной поляризации в диэлектриках.
7. Процесс ионно-релаксационной поляризации в диэлектриках.
8. Процесс миграционной поляризации в диэлектриках.
9. Процесс спонтанной поляризации в диэлектриках.
10. Быстрые и медленные виды поляризации. Чем они отличаются?
11. В каких диэлектриках наблюдаются быстрые, а в каких – релаксационные виды поляризации?
12. Основные типы носителей заряда и механизм электропроводности в газообразных, жидких и твёрдых диэлектриках.
13. Определение удельного объёмного и поверхностного сопротивления. Единицы измерения этих величин?
14. Вольт-амперная характеристика газов.
15. Характер изменения тока в диэлектрике при подаче на него неизменяющегося во времени напряжения.
16. Характер изменения электропроводности диэлектрика при изменении температуры.
17. Характер изменения электропроводности увлажнённых диэлектриков при изменении температуры.
18. Виды диэлектрических потерь.
19. Характер изменения  $\operatorname{tg}\delta$  неполярного диэлектрика при изменении температуры.
20. Характер изменения  $\operatorname{tg}\delta$  неполярного диэлектрика при изменении частоты приложенного электрического поля.



21. Характер изменения  $\operatorname{tg}\delta$  полярного диэлектрика при изменении температуры.
22. Характер изменения  $\operatorname{tg}\delta$  полярного диэлектрика при изменении частоты приложенного электрического поля.
23. Характер изменения  $\operatorname{tg}\delta$  пористого диэлектрика при изменении напряженности электрического поля.
24. Виды пробоя диэлектриков.
25. Лавинный пробой в газах.
26. Лавинно-стримерный пробой в газах.
27. Механизм пробоя увлажненных жидких диэлектриков.
28. Механизм пробоя жидких диэлектриков, загрязненных твердыми примесями.
29. Влияние полярности в системе электродов «игла–плоскость» на величину пробивного напряжения газоразрядного промежутка.
30. Закон Пашена.
31. Электрический пробой твердых диэлектриков.
32. Электротепловой пробой диэлектриков.
33. Ионизационный пробой диэлектриков.
34. Основные характеристики, описывающие механические свойства диэлектриков.
35. Методы определения вязкости жидких диэлектриков.
36. Методы определения смачивающих свойств жидкими диэлектриками поверхности твердого тела.
37. Классы нагревостойкости систем изоляции.
38. Температурный индекс диэлектриков.
39. Методы определения твердости диэлектриков.
40. Классификация диэлектрических материалов.
41. Какие вещества относятся к полупроводникам?
42. Типы химических связей характерны для полупроводниковых материалов?
43. Механизм образования свободных носителей зарядов в собственном полупроводнике.
44. Донорные и акцепторные примеси в полупроводниках.
45. Описание зонной структуры полупроводника примесного типа.
46. Типы свободных носителей зарядов характерны для полупроводниковых материалов.
47. Механизм образования свободных носителей зарядов в донорном полупроводнике.
48. Механизм образования свободных носителей зарядов в акцепторном полупроводнике.



49. Соотношение энергии активации собственного и примесного полупроводников.
50. Характер изменения подвижности свободных носителей зарядов в полупроводнике при изменении температуры.
51. Характер изменения концентрации свободных носителей зарядов в примесном полупроводнике при изменении температуры.
52. Характер изменения электропроводности в собственном полупроводнике при изменении температуры.
53. Характер изменения электропроводности в примесном полупроводнике при изменении температуры.
54. Характер изменения электропроводности в полупроводнике при изменении напряженности электрического поля.
55. Физическая сущность туннельного эффекта.
56. Эффект Зеебека.
57. Эффект Пельтье.
58. Эффект Томпсона.
59. Эффект Холла.
60. Определение типа электропроводности полупроводника с помощью эффекта Зеебека.
61. Определение типа электропроводности полупроводника с помощью эффекта Холла.
62. Характер изменения электропроводности полупроводника при изменении освещенности.
63. Определения спектра поглощения и спектра отражения.
64. Механизмы поглощения света полупроводниками.
65. Явление фотопроводимости.
66. Механизм люминесценции полупроводников.
67. Физическая сущность ( $p-n$ )-перехода.
68. Основные типы полупроводниковых материалов.
69. Принцип работы полупроводникового термистора.
70. Принцип работы полупроводникового варистора.
71. Принцип работы полупроводникового лазера.
72. Метод зонной перекристаллизации.
73. Метод Чохральского.
74. Метод Бриджмена–Стокбаргера.
75. Принцип работы термоэлектрического генератора.
76. Принцип работы термоэлектрического холодильника.
77. Классификация проводниковых материалов по области применения.
78. Материалы для изготовления электронагревательных элементов.

79. Требования и основные материалы, применяемые для изготовления скользящих контактов.
80. Требования и основные проводниковые материалы, используемые в электровакуумной технике.
81. Назначение и краткая характеристика припоев.
82. Характер изменения подвижности свободных носителей зарядов в металлических проводниках при изменении температуры.
83. Проводимость и удельное сопротивление проводников.
84. Характер изменения электропроводности проводников при изменении температуры.
85. Явление криопроводности.
86. Явление сверхпроводимости.
87. Характер изменения сопротивления проводников при всестороннем сжатии.
88. Температурный коэффициент удельного сопротивления.
89. Характер изменения сопротивления проводников при всестороннем растяжении.
90. Характер изменения сопротивления проводников при механической обработке (волочение, резание).
91. Поверхностный (скин-) эффект в проводниковых материалах.
92. ТермоЭДС в проводниковых материалах.
93. Влияние примесей на величину электропроводности проводниковых материалов.
94. Принцип работы проводниковой термопары.
95. Процесс намагничивания ферро- и ферритмагнетиков.
96. Процесс перемагничивания ферро- и ферритмагнетиков.
97. Потери на гистерезис в ферро- и ферритмагнетиках.
98. Потери на вихревые токи ферро- и ферритмагнетиков. Способы их уменьшения.
99. Точкой Нея.
100. Зависимость  $\mu = f(T^{\circ}\text{C})$  ферро- и ферритмагнетиков.
101. Зависимость  $\mu = f(H)$  ферро- и ферритмагнетиков.
102. Зависимость  $\mu = f(f)$  ферро- и ферритмагнетиков.
103. Магнитомягкие и магнитотвердые материалы, их отличие и область применения.
104. Явление магнитострикции и область применения.
105. Магнитные материалы, используемые в устройствах высоких и сверхвысоких частот.
106. Особенности и способы получения текстурированных магнитных материалов.
107. Магнитодиэлектрики. Области их применения.

- 108. Магнитный момент атома.
- 109. Условия возникновения доменной магнитной структуры
- 110. Доменная структура.
- 111. Магнитная индукция.
- 112. Относительная магнитная проницаемость.
- 113. Парамагнетик (его основные свойства).
- 114. Диамагнетик (его основные свойства).
- 115. Антиферромагнетик (его основные свойства).
- 116. Ферромагнетик (его основные свойства).
- 117. Определение электропроводности.
- 118. Классификация веществ по электрическим свойствам
- 119. Ионная связь.
- 120. Ковалентная (атомная).
- 121. Металлическая связь.
- 122. Молекулярная связь.
- 123. Водородная связь.
- 124. Энергия химических связей. Что определяется данной энергией.
- 125. Классификация диэлектрических материалов.
- 126. Активные и пассивные диэлектрики.
- 127. Виды газообразных диэлектриков, их свойства и область применения.
- 128. Виды жидких диэлектриков, их свойства и область применения.
- 129. Виды твердых диэлектриков, их свойства и область применения.

## 5.2. Образец экзаменационного билета для студентов, изучающих дисциплину по классической заочной форме

Билет содержит теоретические вопросы и задачи. Экзамен считается сданным, если выполнено более 55 % заданий из билета.



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



### БИЛЕТ №1

дисциплина      Электротехническое материаловедение

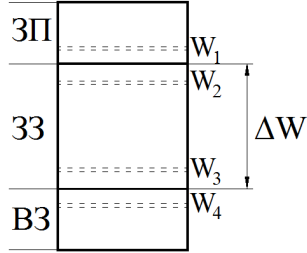
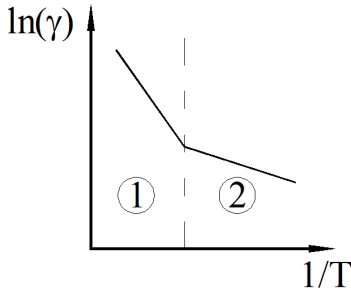
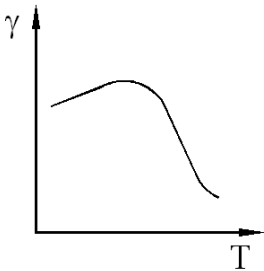
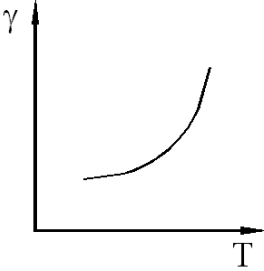
студент

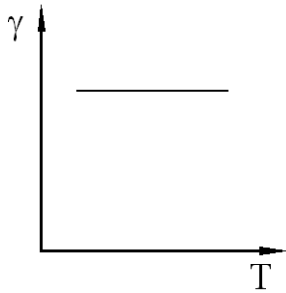
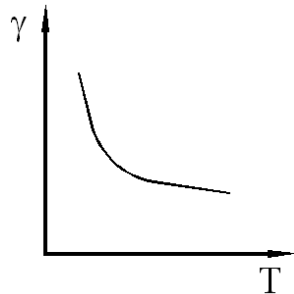
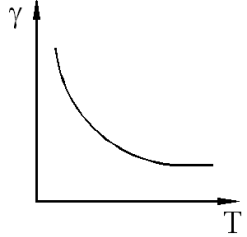
Ф.И.О.

группа

Задание на выбор единственного ответа	
I Раздел	
Вопрос	Варианты ответов
<p>Область технического насыщения намагниченности ферромагнетика</p>	<p>1. А 2. В 3. С</p>
<p>Остаточная индукция ферромагнетика</p>	<p>1. А 2. В 3. С 4. D</p>
<p>Область применения магнитомягких материалов</p>	<p>1. постоянные магниты 2. магнитопровода трансформаторов 3. для записи информации на магнитном носителе</p>
<p>Явление магнитострикции заключается в</p>	<p>1. разной степени намагничивания вещества в постоянных и переменных</p>

	<p>полях</p> <p>2. разной степени намагничивания вдоль разных осей кристаллической решетки</p> <p>3. изменении линейных размеров магнетика при намагничивании до насыщения</p>
<b>II Раздел</b>	
Область применения сплавов высокого сопротивления	<p>1. токопроводящие жилы кабелей</p> <p>2. нити ламп накаливания</p> <p>3. реостаты, электронагреватели</p> <p>4. разрывные контакты</p>
<p>Зависимость удельного сопротивления проводников (<math>\rho</math>) первого рода от температуры (<math>T</math>)</p> <p>Примечание: <math>T_{пл}</math> – температура плавления</p>	<p>1. </p> <p>2. </p> <p>3. </p> <p>4. </p>
Основное электрическое свойство проводниковых веществ	<p>1. высокая электропроводимость</p> <p>2. наличие диэлектрических потерь</p> <p>3. поляризация</p> <p>4. пробой</p> <p>5. ионизация</p>
Проводниковые материалы, применяемые для изготовления термопар	<p>1. свинец – алюминий</p> <p>2. хромель – копель</p>

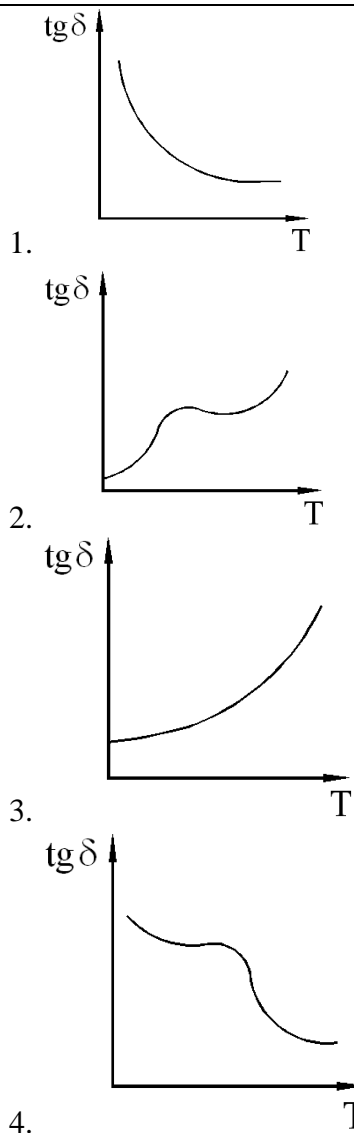
	3. вольфрам – нихром 4. медь – бронза 5. железо – фехраль
<b>III Раздел</b>	
Локальный уровень, соответствующий до- норной примеси в полупроводнике   $\Delta W$ - ширина запрещенной зоны, 3П – зо- на проводимости, 3З – запрещенная зона, ВЗ – валентная зона	1. $W_1$ 2. $W_2$ 3. $W_3$ 4. $W_4$
Тип электропроводности полупроводника на участке 2 температурной зависимости $\ln(\gamma) = f(1/T)$  	1. собственная 2. примесная 3. ионная 4. молионная
Зависимость электропроводности полупро- водникового материала ( $\gamma$ ) от температуры ( $T$ )	 1.  2.

	 <p>3.</p>  <p>4.</p>
Группа полупроводниковых материалов, к которой относятся бор, индий, селен	<p>1. простые 2. двойные 3. сложные 4. примесные</p>
<b>VI Раздел</b>	
<p>Уравнение, описывающее зависимость электропроводности полупроводника (<math>\gamma</math>) от напряженности электрического поля (<math>E</math>), при <math>E &lt; E_{кр}</math></p> <p>Примечание: <math>k</math> – постоянная Больцмана, <math>\beta</math> - коэффициент, характеризующий полупроводниковый материал, <math>E_{кр}</math> – критическая напряженность электрического поля</p>	<p>1. <math>\gamma = \gamma_0 \cdot \exp\left(\frac{k \cdot T}{W}\right)</math> 2. <math>\gamma = \text{const}</math> 3. <math>\gamma = \gamma_0 \cdot \exp(\beta \cdot \sqrt{E})</math> 4. <math>\gamma = \gamma_0 \cdot \exp\left(\frac{\beta \cdot E}{k \cdot T}\right)</math></p>
Температурная зависимость электропроводности ( $\gamma$ ) твердых диэлектриков	<p>1.</p> 



	<p>2.</p> <p>3.</p> <p>4.</p>
<p>Энергетическая диаграмма для диэлектрика</p> <p>Примечание:</p> <p><math>W</math> – ширина запрещенной зоны, ЗП – зона проводимости, ВЗ – валентная зона</p>	<p>1.</p> <p>2.</p> <p>3.</p>

Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь ( $\operatorname{tg} \delta$ ) от температуры ( $T$ ) неполярного диэлектрика



**Задание на выбор множественных ответов**

Вопрос	Варианты ответов
Слабромагнитные материалы с $\mu \approx 1$	1. диамагнетики 2. антиферромагнетики 3. парамагнетики 4. ферримагнетики 5. ферромагнетики
Нагревостойкие сплавы для электронагревателей выполняются на основе	1. меди, цинка 2. меди, олова 3. железа, никеля, хрома 4. железа, хрома, алюминия

<p>Энергетическая диаграмма для полупроводника и для проводника</p> <p>Примечание:</p> <p><math>W</math> – ширина запрещенной зоны, ЗП – зона проводимости, ВЗ – валентная зона</p>	
<p>Неупругие (медленные) виды поляризации в диэлектриках</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. электронная</li> <li>2. дипольная ориентационная</li> <li>3. дипольная релаксационная</li> <li>4. ионная релаксационная</li> </ol>
<p align="center"><b>Задание на установление соответствия</b></p>	
<p>Установите соответствие между приведенными материалами и их магнитным состоянием</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>MnF_2</math></li> <li>2. <math>Co</math></li> <li>3. <math>Cu</math></li> <li>4. <math>ZnO \cdot Fe_2O_3</math></li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. диамагнетики</li> <li>2. парамагнетики</li> <li>3. ферримагнетики</li> <li>4. ферромагнетики</li> <li>5. антиферромагнетики</li> </ol>
<p>Установить соответствие между магнитными свойствами (сильномагнитные или слабомагнитные) веществ и их структурной формулой</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>Cu</math></li> <li>2. <math>Fe</math></li> <li>3. <math>Ni</math></li> <li>4. <math>ZnO \cdot Fe_2O_3</math></li> <li>5. <math>Al</math></li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. сильномагнитные (<math>\mu \gg 1</math>)</li> <li>2. слабомагнитные (<math>\mu \approx 1</math>)</li> </ol>
<p align="center"><b>Задание на установление последовательности</b></p>	
<p>Установите последовательность магнетиков по возрастанию значения величины от</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. диамагнетики</li> <li>2. ферромагнетики</li> </ol>

носительной магнитной проницаемости	3. парамагнетики 4. ферромагнетики
Установите последовательность типов диэлектрических материалов по убыванию величины электрической прочности ( $E_{пр}$ ) при электрическом пробое	1. Газы 2. Твердые диэлектрики 3. Жидкие диэлектрики
<b>Задание для краткого ответа</b>	
<b>Вопрос</b>	<b>Краткий ответ</b>
Температура, при которой происходит разрушение доменной структуры ферромагнетика	
Основные свободные носители заряда в донорном полупроводнике	
<b>Расчетное задание</b>	
<b>Задача №1.</b> Определить значение электрического сопротивления провода круглого сечения диаметром 0.5 [мм] длиной 150 [м] при температуре 30 [°C], если величина его сопротивления при температуре 0 [°C] равна 66 [Ом], при температуре -15 [°C] равна 59 [Ом].	
<b>Решение:</b>	
<b>Ответ:</b>	

### 5.3. Образец экзаменационного билета для студентов, изучающих дисциплину дистанционно

В данном разделе приведены примеры вопросов из экзаменационного билета для студентов, сдающих экзамен в онлайн режиме (через Интернет на сайте ИДО). Экзаменационный билет включает в себя 20 заданий: задания на выбор единственного ответа (8); задания на выбор множественных ответов (4); задания на установление последовательности (4); задания на установление соответствия (2); задания для краткого ответа (2).

#### 1. Задание на выбор единственного ответа

##### **Область применения сплавов высокого сопротивления**

- 1) токопроводящие жилы кабелей
- 2) нити ламп накаливания
- 3) реостаты, электронагреватели

4) разрывные контакты

2. Задание на выбор множественных ответов

**Слабромагнитные материалы с  $\mu \approx 1$**

- 1) диамагнетики
- 2) антиферромагнетики
- 3) парамагнетики
- 4) ферромагнетики
- 5) ферромагнетики

3. Задание на установление соответствия

**Установите соответствие между типом проводника и свободными носителями заряда в этом проводнике**

- |                                |                      |
|--------------------------------|----------------------|
| 1) металлы в твердом состоянии | 1) ионы              |
| 2) ионизованные газы           | 2) электроны         |
| 3) электролиты                 | 3) ионы и электроны  |
| 4) расплавленные металлы       | 4) электроны и дырки |

4. Задание на установление последовательности

**Установите последовательность видов поляризации диэлектриков по возрастанию времени их установления**

- 1) ионная упругая
- 2) ионно-релаксационная
- 3) электронная
- 4) дипольная упругая
- 5) дипольно-релаксационная

5. Задание для краткого ответа

**Основное электрическое свойство диэлектрических материалов – это способность к ...**

## **6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

1. Дудкин А.Н., Ким В.С. Электротехническое материаловедение: учебное пособие – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 198 с.
2. Тареев Б.М.. Электрорадиоматериалы.– М: Высшая школа, 1978.–336 с.
3. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М.. Электротехнические материалы. – Л: Энергия, 1985. – 352 с.
4. Дудкин А.Н., Ким В.С., Петров А.В. Лабораторный практикум по курсу «Электротехническое материаловедение» – Томск: Изд-во ТПУ, 2006 – 80 с.
5. Шуликин С.Н. Изучение основных свойств ферро- и ферромагнитных материалов: методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Электротехническое материаловедение» для студентов ИДО. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 8 с.
6. Справочник по электротехническим материалам / под ред. Ю.В.Корицкого, В.В.Пасынкова, Б.М.Тареева, т.1. – М.: Энергоатомиздат, 1986.– 368с.; т. 2.– М.: Энергоатомиздат, 1987.– 464с.; т.3. – Л.: Энергоатомиздат, 1988.– 728с.

### **Дополнительная литература**

1. Преображенский А.А., Бишар Е.Г.. Магнитные материалы и элементы. – М:Высшая школа, 1986 – 352 с.
2. Шалимова К.В.. Физика полупроводников. – М: Энергия, 1976 – 416 с.
3. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов. М: Энергоиздат, 1982 – 320 с.
4. Калинин Н.Н., Скибинский Г.Л., Новиков П.П. Электрорадиоматериалы. – М.: Высш. школа, 1981.– 293с.
5. Орешкин П.Т. Физика полупроводников и диэлектриков. – М.: Высш. школа, 1977.– 448с.
6. Пасынков В.В., Чиркин Л.К., Шинков А.Д. Полупроводниковые приборы. – М.: Высш. школа, 1981.– 436с.

### **Internet-ресурсы**

1. ChemPort.Ru [Электронный ресурс]: сайт о химии. – Режим доступа: [www.chemport.ru](http://www.chemport.ru), свободный.





2. Химик [Электронный ресурс]: сайт о химии. – Режим доступа: [www.xumuk.ru](http://www.xumuk.ru), свободный.
3. Подборка статей на тему: Электромонтаж и электромонтажные работы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.licevim.ru](http://www.licevim.ru), свободный.
4. Мегаэнциклопедия Кирилла и Мефодия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.megabook.ru](http://www.megabook.ru), свободный.
5. Нормативные документы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.normativinfo.ru](http://www.normativinfo.ru), свободный.





Учебное издание

## ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Методические указания и индивидуальные задания

*Составитель*

ШУЛИКИН Сергей Николаевич

*Рецензент*

*кандидат технических наук,  
доцент кафедры ЭКМ ЭНИН*

*А.П. Леонов*

Подписано к печати . Формат 60×84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать Херох. Усл.печ.л. 1,80. Уч.-изд.л. 1,63.

Заказ . Тираж экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества

Издательства Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО



ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru

