



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования**

**«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ И
КОНСТРУКЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

Учебная программа

**Для студентов
заочной формы обучения**

Казань 2017

УДК 620.2

ББК 30.3

Э34

Э34 **Электротехническое и конструкционное материаловедение:**
Учебная программа / Сост.: А.Е. Сухарников. – Казань: Казан. гос.
энерг. ун-т, 2017. – 42 с.

Приведены общие рекомендации по работе над дисциплиной «Электротехническое и конструкционное материаловедение», программа дисциплины, методические указания к изучению дисциплины, и варианты контрольных работ.

Предназначена для студентов заочной формы обучения, обучающихся по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

УДК 620.2

ББК 30.3

ПРЕДИСЛОВИЕ

В результате изучения дисциплины «Электротехническое и конструкционное материаловедение» студенты приобретают умение ориентироваться в многообразии материалов, пользоваться справочной и специальной литературой в области электротехнических и конструкционных материалов, первичные навыки экспериментального определения основных характеристик материалов распространенными методами.

Будущий специалист на основе знаний о перспективных направлениях совершенствования материалов и способов их обработки должен уметь правильно оценить надежность, экономичность и экологическую целесообразность их выбора при разработке нового электроэнергетического и электротехнического оборудования, предназначенного для различных условий эксплуатации.

Изучение дисциплины основано на знании студентами материалов дисциплин «Математика», «Физика», «Химия», «Информатика», «Инженерная графика», «Компьютерные технологии», «Теоретическая механика», «Теоретические основы электротехники».

Полученные знания необходимы студентам при подготовке, выполнении и защите выпускной квалификационной работы и при решении научно-исследовательских, проектно-конструкторских, производственно-технологических, организационно-управленческих задач в будущей профессиональной деятельности.

ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является:

– формирование знаний в области физико-химических основ электротехнического и конструкционного материаловедения, современных методов получения и обработки материалов, способов их диагностики и улучшения свойств.

Задачей дисциплины является:

– приобретение студентами практических навыков в области электротехнического и конструкционного материаловедения, эффективной обработки и контроля качества материалов.

МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Дисциплина «Материаловедение» относится к модулю «Фундаментальные основания профессиональной деятельности», является базовой и обязательной для освоения в пятом семестре третьего года обучения.

До освоения дисциплины у студента должны быть сформированы следующие компетенции:

- способность к самоорганизации и самообразованию (ОК-7);
- способность участвовать в планировании, подготовке и выполнении типовых экспериментальных исследований по заданной методике (ПК-1);
- способность обрабатывать результаты экспериментов (ПК-2);
- готовность определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности (ПК-5).

До освоения дисциплины студент должен:

знать:

– основные законы и концепции химии, закономерности химических процессов; современные представления о строении вещества; взаимосвязь между строением химических соединений и их реакционной способностью; сырьевые источники химических соединений, способы их переработки и использования;

– фундаментальные разделы физики, подходы и методы механики, физики колебаний и волн, термодинамики, классической и квантовой статистики, молекулярной физики, поведения веществ в электрическом и магнитном полях, волновой и квантовой оптики;

– основные разделы математики, методы математического анализа, теории вероятностей и математической статистики, функций комплексной переменной, векторной и линейной алгебры, аналитической геометрии, дифференциального и интегрального исчисления функций одной и нескольких переменных;

– основные положения информатики, дающие возможность использования информационно-коммуникационных технологий;

уметь:

– применять химические и физические законы для решения практических задач;

– пользоваться справочной литературой в области физики, химии, математики и информатики;

- проводить статистическую и графическую обработку результатов эксперимента;

- использовать знания фундаментальных основ, подходы и методы физики, химии, математики и экологии в обучении и профессиональной деятельности, в интегрировании имеющихся знаний, наращивании накопленных знаний;

- формулировать и аргументировать собственные суждения и научную позицию по научным и техническим проблемам, возникающим в профессиональной деятельности, с учетом экологических и социальных последствий;

- использовать стандартные пакеты прикладных программ для решения практических задач на ПК, внешние и внутренние сетевые ресурсы, и базы данных; самостоятельно работать на компьютере с использованием основного набора прикладных программ и в Интернете;

владеть:

- представлениями о составе, строении и свойствах неорганических и органических веществ;

- навыками использования современных подходов и методов химии и физики к теоретическому, экспериментальному исследованию и математическому моделированию физико-химических систем, явлений и процессов в объеме, необходимом для освоения фундаментальных и прикладных основ материаловедения и технологий материалов;

- методами обработки результатов экспериментальных исследований;

- основными методами работы на ПК с прикладными программными средствами, электронными словарями и текстовыми редакторами.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В ПРОЦЕССЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующей компетенции:

- способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач (ОПК-2).

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- предмет и задачи материаловедения, физико-химические основы строения материалов, основы теории деформации материалов, механические

свойства материалов и методы их определения, основы строения и свойства железоуглеродистых сплавов и сплавов на основе цветных металлов, основы теории и технологии термической и химико-термической обработки стали;

уметь:

– осуществлять рациональный выбор материалов для изготовления электроэнергетического и электротехнического оборудования, исходя из заданных условий эксплуатации и с учетом требований технологичности, экономичности, экологической безопасности, надежности и долговечности изделий;

– проводить испытания по определению механических свойств материалов;

– проводить анализ состава и строения материалов, используемых в электротехнике и электроэнергетике;

– обосновывать выбор технологии обработки материалов при решении конкретных задач;

владеть:

– навыками работы со справочной литературой и базами данных при выборе материалов;

– методиками выполнения расчетов применительно к использованию электротехнических и конструкционных материалов в простых конструкциях электротехнического и электроэнергетического оборудования;

– техническими средствами определения параметров конструкционных и электротехнических материалов и конструкций.

**СТРУКТУРА
ДИСЦИПЛИНЫ «ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ КОНСТРУКЦИОННОЕ
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов.

Семестр	Форма промежуточной аттестации (З, Э)	Форма самостоятельной работы (К, Р, РГР, КР, КП и др.)	Часы учебных занятий					
			Всего	Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа	Промежуточная аттестация	Занятия, проводимые в интерактивной форме
5	З	К	108	4	6	98		4

СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

Раздел 1. Предмет и задачи дисциплины. Физико-химические основы строения электротехнических материалов

Классификация электротехнических материалов по агрегатному состоянию, химическому составу, функциональному назначению, их роль в развитии электроэнергетики. Основные свойства, характеристики и области применения проводниковых, диэлектрических, полупроводниковых и магнитных материалов. Зонная теория твердого тела. Природные, синтетические и искусственные материалы. Повышение технико-экономических показателей электрооборудования при применении современных электротехнических материалов за счет повышения КПД, увеличения единичной мощности, снижения материалоемкости, замены дефицитных материалов и пр.

Раздел 2. Диэлектрические материалы

Явление поляризации диэлектриков. Относительная диэлектрическая проницаемость, поляризованность, вектор электрического смещения. Основные виды поляризации диэлектриков: электронная, ионная, дипольно-релаксационная, спонтанная, миграционная, резонансная, электронно- и ионно-релаксационная. Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости. Зависимость диэлектрической проницаемости для различных видов поляризации от температуры, а так же от частоты и напряженности электрического поля.

Основное уравнение электропроводности. Электропроводность объемная и поверхностная. Токи смещения, абсорбции и сквозной проводимости. Природа электропроводности газообразных, жидких и твердых диэлектриков. Удельные объемное и поверхностное сопротивления. Температурный коэффициент удельного сопротивления. Зависимость электропроводности диэлектриков от температуры, напряженности и частоты электрического поля и других факторов.

Природа диэлектрических потерь в постоянном и переменном электрических полях. Векторная диаграмма токов в диэлектрике. Удельные диэлектрические потери и коэффициент диэлектрических потерь. Виды диэлектрических потерь. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от температуры, частоты и напряженности электрического поля.

Явление пробоя в газообразных, жидких и твердых диэлектриках. Пробивное напряжение и электрическая прочность. Основные закономерности при электрическом, тепловом и электрохимическом пробое диэлектриков. Старение и срок службы изоляции.

Механические и физико-химические свойства диэлектрических материалов и методы их определения.

Электроизоляционные газы их, классификация и области применения. Электроизоляционные жидкости, их классификация и области применения. Нефтяные электроизоляционные масла. Производство, старение нефтяных масел, их сушка, очистка и регенерация. Негорючие и трудногорючие синтетические электроизоляционные жидкости.

Общие свойства твердых полимерных материалов. Классификация полимеров: *природные, искусственные и синтетические*, полимеризационные и поликонденсационные, органические и элементоорганические, термопластичные и терморезистивные.

Пластмассы и слоистые пластики. Электротехнические резины. Электроизоляционные лаки, эмали и компаунды. Воскообразные

диэлектрики. Волокнистые материалы. Неорганическое электротехническое стекло. Керамические диэлектрики. Слюда и материалы на ее основе. Минеральные диэлектрики. Активные диэлектрики. Свойства и области применения диэлектрических материалов в электротехнике и электроэнергетике.

Связь химического состава диэлектриков с их свойствами, зависимость свойств от внешних факторов, технологии получения и применения диэлектриков, как компонентов электроэнергетического и электротехнического оборудования. Связь параметров, характеризующих свойства диэлектрических материалов с параметрами электроэнергетического и электротехнического оборудования.

Раздел 3. Полупроводниковые материалы

Природа электропроводности полупроводников. Электронная и дырочная проводимость. Энергетические диаграммы для собственных и примесных полупроводников. Зависимости электропроводности полупроводников от температуры, напряженности электрического поля, интенсивности электромагнитного излучения. Виды полупроводниковых материалов: простые полупроводники, химические соединения и многофазные материалы.

Связь химического состава полупроводниковых материалов с их свойствами, зависимость свойств от внешних факторов, технологии получения и применения проводников, как компонентов электроэнергетического и электротехнического оборудования. Связь параметров, характеризующих свойства полупроводниковых материалов с параметрами электроэнергетического и электротехнического оборудования. Области применения полупроводниковых материалов в электроэнергетике и электротехнике.

Раздел 4. Проводниковые материалы

Природа электропроводности проводниковых материалов. Основные свойства и характеристики проводниковых материалов: удельная проводимость и удельное сопротивление, температурный коэффициент удельного сопротивления. *Связь химического состава проводниковых материалов с их свойствами.* Влияние типа сплава на электропроводность проводников.

Зависимость свойств материалов от внешних факторов (температуры, напряженности электрического поля, частоты напряжения), технологии получения и применения проводников, как компонентов электроэнергетического и электротехнического оборудования. Связь параметров, характеризующих свойства проводниковых материалов с параметрами электроэнергетического и электротехнического оборудования.

Проводниковые материалы высокой проводимости, металлы сплавы высокого сопротивления, криопроводники и сверхпроводники. Контактные материалы. Материалы для термопар. Припой. Неметаллические проводниковые материалы. Состав, особенности строения, свойства и области применения.

Раздел 5. Магнитные материалы

Основные характеристики магнитных материалов. Классификация веществ по магнитным свойствам: диамагнитные, парамагнитные, ферромагнитные, антиферромагнитные и ферримагнитные материалы. Свойства ферромагнетиков: магнитный гистерезис, магнитная анизотропия, магнитострикция, потери энергии магнитного поля в магнитном материале.

Связь химического состава магнитных материалов с их свойствами, зависимость свойств от внешних факторов, технологии получения и применения материалов, как компонентов электроэнергетического и электротехнического оборудования. Связь параметров, характеризующих свойства магнитных материалов с параметрами электроэнергетического и электротехнического оборудования.

Магнитомягкие низкочастотные и высокочастотные материалы: виды, состав, свойства и области применения. Материалы с прямоугольной петлей гистерезиса. Магнитотвердые материалы: виды, состав, свойства и области применения.

СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИЙ

Лекция 1. Обзорная лекция по разделам: «Предмет и задачи дисциплины», «Физико-химические основы строения электротехнических материалов», «Диэлектрические материалы», (2 часа).

Лекция 2. Обзорная лекция по разделам: «Полупроводниковые материалы», «Проводниковые материалы», «Магнитные материалы», (2 часа).

СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Практическая работа 1. Исследование электрической прочности твёрдых и газообразных диэлектриков. (2 часа).

Практическая работа 2. Определение общефизических характеристик электроизоляционных материалов. (2 часа).

Практическая работа 3. Исследование свойств магнитных материалов. Построение основной кривой намагничивания, исследование магнитной проницаемости ферромагнитных материалов. (2 часа).

ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. Колесов С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов/ С.Н. Колесов, И.С. Колесов. – М.: Высшая школа, 2008. – 535с.

2. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебное пособие / под ред. В.С. Чередниченко. - 5-е изд., стер. - М.: Омега – Л, 2009. – 752с.

3. Дудкин А.Н. Электротехническое материаловедение. [Электронный ресурс] / А.Н. Дудкин, В.С. Ким. – Электрон. дан. – СПб.: Лань, 2016. – 200 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/75509/>.

4. Сорокин В.С. Материалы и элементы электронной техники. Активные диэлектрики, магнитные материалы, элементы электронной техники. [Электронный ресурс] / В.С. Сорокин, Б.Л. Антипов, Н.П. Лазарева. – Электрон. дан. – СПб.: Лань, 2016. – 384с. Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/71735/>.

Дополнительная литература

1. Сорокин В.С. Материалы и элементы электронной техники: учебник в 2 т. Т1. Проводники, полупроводники, диэлектрики /В.С. Сорокин, Б.Л. Антипов, Н.П. Лазарева. – М.: Академия, 2006. – 448с.

2. Сорокин В.С. Материалы и элементы электронной техники: учебник в 2 т. Т2. Активные диэлектрики, магнитные материалы, элементы электронной техники/ В.С. Сорокин, Б.Л. Антипов, Н.П. Лазарева. – М.: Академия, 2006. – 384с.

3. Антипов Б.Л. Материалы электронной техники: Задачи и вопросы. Б.Л. Антипов, В.С. Сорокин, В.А. Терехов. 3-е изд.,стер./ Под ред. В.А. Терехова – СПб.: Изд-во «Лань», 2003. – 208с.

4. Пасынков В.В. Материалы электронной техники: учебник/ В.В.

Пасынков, В.С. Сорокин, 5-е изд., стер. - СПб.: Издательство «Лань», 2003. – 368с.

5. Сироткин О.С. Основы материаловедения: учебное пособие / О.С. Сироткин. – Москва: КноРус, 2015. – 261 с.

6. Сироткин О.С. Основы материаловедения [Электронный ресурс]: учебное пособие / О.С. Сироткин. — Москва: КноРус, 2015. – 261 с. – Для бакалавров. –Режим доступа: <http://www.book.ru/book/918995/>.

7. Богородицкий Н.П., Электротехнические материалы: учебник для вузов/ Н.П. Богородицкий, В.В. Пасынков, Б.М. Тареев. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 304 с.

8. Электротехнические и конструкционные материалы: учеб. пособие для студентов сред. проф. образования / В.Н. Бородулин, А.С. Воробьев, В.М. Матюнин и др. под ред. В.А. Филикова. – 3-е изд., испр. –М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 280 с.

9. Сироткин О.С. Основы теоретического материаловедения: учебное пособие/ О.С. Сироткин, Р.О. Сироткин. – Казань КГЭУ, 2010. – 299с.

10. Сухарников А.Е. Конструкционные материалы в электроэнергетике: конспект лекций/ А.Е. Сухарников, Ч 1. – Казань: КГЭУ, 2007. – 203 с.

11. Сироткин О.С. Проводниковые и полупроводниковые материалы: учебное пособие по дисциплине «Материаловедение. Ч2. Электротехнические материалы» / О.С. Сироткин, Т.Б. Татаринцева, В.И. Уваров. – Казань: КГЭУ, 2008. – 154 с.

12. Сироткин О.С. Электротехнические материалы. Диэлектрики: учебное пособие / О.С. Сироткин, И.А. Женжурист. – Казань: КГЭУ, 2008. – 116 с.

13. Уваров В.И. Электротехнические материалы: лабораторный практикум по дисциплине «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» / В.И. Уваров. – Казань: КГЭУ, 2005. – 52.с.

14. Материаловедение. Электротехнические материалы: лабор. практикум / О.С. Сироткин, А.Е. Сухарников, П.Б. Шibaев и др. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2010. – 156 с.

15. Электротехнический справочник / Сост.: И.И. Алиев. – М.: РадиоСофт. Т.1, 2006. – 480с.

16. Электротехнические материалы и изделия: справочник / И.И. Алиев, С.Г. Калганова. – М.: РадиоСофт, 2005. – 352с.

17. Электротехнический справочник: В 4 т. Т.1. Общие вопросы. Электротехнические материалы/ Под общ. ред. В.Г. Герасимова и др. – 9-е изд., стер. – М.: Изд. МЭИ, 2003. – 440 с.

18. Электротехнический справочник: В 4 т. Т.2. Электротехнические изделия и устройства / Под общ. ред. В.Г. Герасимова и др. – М.: Изд. МЭИ, 2003. – 518 с.

ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАБОТЕ НАД ДИСЦИПЛИНОЙ «ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ И КОНСТРУКЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

Работа студента над дисциплиной «Электротехническое и конструкционное материаловедение» состоит из следующих этапов: самостоятельное изучение разделов дисциплины по учебникам и учебным пособиям с последующей самопроверкой и выполнением контрольного задания; индивидуальные консультации (очные и письменные); выполнение лабораторного практикума; посещение лекций; сдача зачета по лабораторному практикуму; сдача лекционного зачета по всей дисциплине.

Самостоятельная работа с книгой

Начинать изучение дисциплины необходимо с рассмотрения ее содержания по программе, затем необходимо приступить к рассмотрению отдельных разделов дисциплины.

При первом чтении необходимо получить общее представление об излагаемых вопросах. При повторном чтении необходимо параллельно вести конспект, в который следует заносить все основные понятия, определения и закономерности рассматриваемой темы, математические зависимости, химические формулы, названия веществ и структурных составляющих, а также впервые встретившиеся термины и названия с кратким пояснением их сущности.

По возможности следует стараться систематизировать материал, представить его в виде графиков, схем, диаграмм, таблиц – это облегчает запоминание материала и позволяет легко восстановить его в памяти при повторном обращении. Не нужно стараться наполнить конспект отдельными фактами и цифрами, их всегда можно отыскать в соответствующих справочных материалах. Следует вникать в сущность того или иного вопроса, это способствует более глубокому и прочному усвоению материала.

К изучению новой темы следует переходить только после полного изучения теоретических вопросов, выполнения самопроверки и решения задач по предыдущей теме.

Самопроверка

Закончив изучение раздела, необходимо ответить на вопросы для самопроверки, которые нацеливают внимание на наиболее важные аспекты

темы. При этом нужно стараться, как можно меньше пользоваться конспектом или учебником. Частое обращение к конспекту показывает недостаточное усвоение основных вопросов темы. При самопроверке необходимо вносить коррективы в конспект, который впоследствии поможет при повторении материала в период подготовки к зачетам.

Контрольная работа

В процессе изучения дисциплины «Электротехнические и конструкционные материалы» студент должен выполнить контрольную работу, которая включает 5 вопросов и 2 задачи. Задачи контрольной работы необходимо выполнять по мере изучения соответствующей темы. Неудача при решении задач показывает, что тема не достаточно проработана. Необходимо вернуться к рассмотрению основных положений этой темы, еще раз внимательно разобрать решение типовых задач и заданий, решить предложенные задачи и выполнить индивидуальные задания и упражнения.

Контрольная работа является формой методической помощи студентам при изучении дисциплины. Преподаватель-рецензент указывает студенту на недостатки в усвоении им материала дисциплины, что позволяет устранить эти недостатки к итоговому зачету.

Консультации

При возникновении затруднений при изучении теоретической части дисциплины, а также при выполнении контрольной работы следует обращаться за консультацией к преподавателю университета. При этом необходимо точно сформулировать вопрос, вызывающий затруднение, и указать место в учебнике, где он разбирается.

Лабораторные работы

Для более глубокого изучения дисциплины «Электротехнические и конструкционные материалы» как науки, основанной на эксперименте, необходимо выполнить лабораторные работы.

Лекции

В период установочной лабораторно-экзаменационной сессии студентам читаются лекции обзорного характера, на которых проводится обзор наиболее важных разделов и тем дисциплины, а также рассматриваются вопросы, вызывающие затруднения у большинства студентов.

Дифференцированный зачет

К сдаче дифференцированного зачета по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение» допускаются студенты, имеющие зачетную контрольную работу и зачет по лабораторному практикуму. Образец оформления титульного листа контрольной работы приводится в приложении 2.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ И КОНСТРУКЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

Раздел 1. Предмет и задачи дисциплины. Физико-химические основы строения электротехнических материалов

Литература: [1], гл.1, п.п. 1.2, 1.8; [2], гл. III, п. 1.

В зависимости от величины удельного электрического сопротивления электротехнические материалы подразделяются на проводниковые, полупроводниковые и диэлектрические.

Различную электропроводность проводников, полупроводников и диэлектриков позволяет объяснить зонная теория твердого тела (ЗТТТ).

Проводниковые материалы (удельное электрическое сопротивление $\rho_v = 10^{-8} \div 10^{-5}$ Ом·м). Основное свойство материалов – высокая электропроводность (низкое электрическое сопротивление). Материалы предназначены для передачи электрической энергии, преобразования электрической энергии в тепловую энергию для других целей.

Полупроводниковые материалы ($\rho_v = 10^{-6} \div 10^8$ Ом·м). Характерная особенность материалов – существенная зависимость электрического сопротивления от интенсивности внешнего энергетического воздействия (температуры, длины волны светового излучения, напряженности электрического поля и др.). Материалы предназначены для изготовления полупроводниковых приборов: диодов, транзисторов, термисторов, фоторезисторов и др.

Диэлектрические материалы ($\rho_v = 10^7 \div 10^{18}$ Ом·м). Характерные свойства материалов – способность поляризоваться под действием электрического поля и высокое электрическое сопротивление. Различают пассивные диэлектрики (электроизоляционные и конденсаторные) и активные (управляемые) диэлектрики.

Широкое применение в электроэнергетике и электротехнике получили *магнитные материалы*.

Основное свойство магнитных материалов: способность намагничиваться под действием электромагнитного поля. Материалы делят на две группы – магнитомягкие и магнитотвердые.

Магнитомягкие (легкопермагничиваемые) материалы применяют для изготовления магнитопроводов электрических двигателей, генераторов, трансформаторов, дросселей и других электрических машин и аппаратов.

Магнитотвердые (труднопермагничиваемые) материалы применяют для изготовления постоянных магнитов и носителей магнитной информации (магнитные ленты, диски, пленки и т.п.).

Вопросы для самопроверки

1. Что позволяет объяснить зонная теория твердого тела?
2. Каково расположение энергетических зон в диэлектриках, полупроводниках и проводниках в соответствии с зонной теорией твердого тела.
3. Назовите типы химических связей между структурными частицами вещества.
4. Какая величина называется электроотрицательностью атома?
5. Что называется энергией ионизации атома?
6. Что такое сродство к электрону?
7. Что такое дипольный момент молекулы, и в каких единицах он измеряется?
8. В чем заключается различие полярных (дипольных) и неполярных (нейтральных) веществ? Приведите примеры.
9. Какие заряды в диэлектриках являются сильно связанными, слабо связанными и свободными?

Раздел 2. Диэлектрические материалы

Литература: [1], гл. 2 - 7; [2], гл. III, п. 4, гл. XVI.

Диэлектриками называют материалы, основным электрическим свойством которых является способность поляризоваться в электрическом поле. В диэлектриках электрические заряды прочно связаны с атомами, молекулами или ионами и в электрическом поле лишь несколько смещаются относительно положения равновесия. Происходит разделение центров

положительного и отрицательного зарядов, то есть *поляризация*. Для диэлектриков характерно высокое сопротивление прохождению постоянного электрического тока. Мерой *поляризуемости* диэлектрика является *относительная диэлектрическая проницаемость*, равная отношению емкости конденсатора с диэлектриком к емкости такого же конденсатора с вакуумом.

В зависимости от времени протекания все виды поляризации подразделяются на *упругие (быстрые или деформационные)* и *релаксационные (медленные)*.

Упругие поляризации (электронная и ионная) заключаются в мгновенном смещении сильно связанных зарядов (электронов и ионов) при приложении электрического поля и мгновенном их возвращении в исходное равновесное состояние после прекращения действия поля.

Релаксационные поляризации (дипольно-релаксационная, ионно-релаксационная, электронно-релаксационная, спонтанная, миграционная и резонансная) заключаются в относительно медленном смещении слабо связанных зарядов (диполей, ионов и др.) при приложении электрического поля и медленном их возвращении в равновесное состояние после прекращения действия поля.

Важнейшими параметрами, характеризующими электрическое сопротивление диэлектриков являются *удельное объемное сопротивление* и *удельное поверхностное сопротивление*.

Удельное объемное сопротивление диэлектрика (ρ_v) численно равно сопротивлению куба с ребром 1м, если напряжение приложено к противоположным граням куба.

Удельное поверхностное сопротивление диэлектрика (ρ_s) численно равно сопротивлению поверхности квадрата со стороной 1м, если напряжение приложено к противоположным сторонам квадрата.

Полный ток, протекающий через конденсатор, между обкладками которого находится диэлектрик, состоит из тока *смещения*, *емкостного тока* и *тока сквозной проводимости*.

Емкостной ток, обусловлен смещением сильно связанных зарядов в процессе электронной и ионной поляризаций.

Ток абсорбции обусловлен смещением слабо связанных зарядов в процессах релаксационных видов поляризации.

Ток сквозной проводимости обусловлен движением свободных зарядов в диэлектрике под действием электрического поля.

Диэлектрические потери – часть энергии приложенного электрического поля, которая поглощается в диэлектрике. Эта энергия превращается в тепло и нагревает диэлектрик.

Удельные диэлектрические потери – энергия электрического поля, поглощаемая единицей объема диэлектрика.

Уровень диэлектрических потерь в диэлектрике оценивают с помощью *тангенса угла диэлектрических потерь* $\text{tg } \delta$. Чем меньше $\text{tg } \delta$ тем меньше диэлектрические потери и выше качество диэлектрика.

Важнейшей характеристикой диэлектрических материалов является *электрическая прочность*. При превышении в объеме диэлектрика некоторой критической величины напряженности электрического поля происходит *пробой*. Под *напряженностью электрического поля* понимают отношение приложенного к диэлектрику напряжения к расстоянию между подводящими напряжением электродами. Значение напряжения в момент пробоя называют *пробивным напряжением*, а достигнутую к этому моменту напряженность – *электрической прочностью*.

По назначению различают:

- *электроизоляционные материалы*, предназначенные для создания электрической изоляции, то есть для отделения друг от друга частей электрических устройств, аппаратов и машин, находящихся под различными электрическими потенциалами;

- *диэлектрики для конденсаторов*, предназначенные для создания электрической емкости конденсаторов;

- *активные диэлектрики* - диэлектрики с управляемыми свойствами (сегнетоэлектрики, пьезоэлектрики, электреты и др.)

По агрегатному состоянию диэлектрики могут быть:

- *газообразные* (инертные газы, водород, азот, воздух, дихлордифторметан, гексафторид серы, перфторированные углеводороды);

- *жидкие* (нефтяные масла – трансформаторные, кабельные, конденсаторные; синтетические трудногорючие и негорючие жидкости – полихлордифенилы, кремнеорганические жидкости, фторорганические жидкости и др.);

- *твердые* (полимеры - неполярные полимеризационные, полярные полимеризационные, поликонденсационные, термопластичные и терморезистивные и др.; пластические массы, слоистые пластики, электроизоляционные резины, керамические диэлектрики, электротехническое неорганическое стекло, бумага и картон, слюдяные материалы и др.);

- *твердеющие материалы* (лаки, эмали, компаунды, высыхающие масла и др.)

По химической природе различают *органические и неорганические*

диэлектрики.

Пластмассы – многокомпонентные материалы на основе полимеров, предназначены для изготовления изоляционных и конструкционных деталей электрических машин и устройств.

Резины – материалы, получаемые в процессе вулканизации каучука с различными добавками.

Керамика (κεραμος, греч. – глина) – неорганический материал, получаемый путем спекания измельченных и тщательно перемешанных минералов и оксидов.

Неорганическое стекло – аморфный термопластичный материал, образующийся в результате переохлаждения расплава оксидов.

Электроизоляционные лаки – коллоидные растворы лаковой основы, образующие после удаления растворителя пленку, обладающую электроизоляционными свойствами.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое поляризация диэлектрика? Как количественно оценивается поляризация диэлектрика?
2. Что такое диэлектрическая проницаемость, диэлектрическая восприимчивость, поляризуемость частиц?
3. Основные виды поляризации диэлектриков. Как классифицируются диэлектрики по виду поляризации?
4. Какова зависимость диэлектрической проницаемости жидких нейтральных и полярных диэлектриков от частоты?
5. Какова зависимость диэлектрической проницаемости различных типов твердых диэлектриков от температуры и частоты?
6. Каковы особенности поляризации сегнетоэлектриков?
7. Как определяется диэлектрическая проницаемость для смеси нескольких диэлектриков?
8. Запишите основное уравнение электропроводности диэлектриков.
9. Что такое подвижность носителей зарядов?
10. Что такое удельное объемное и удельное поверхностное сопротивления диэлектриков? Каковы их единицы измерения?
11. Какими процессами в диэлектриках обусловлены токи смещения, абсорбции и сквозной проводимости?
12. Чем отличаются слабые и сильные электрические поля?
13. Что такое молионы?
14. В чем заключаются самостоятельная и несамостоятельная

электропроводности газообразных диэлектриков?

15. В чем различие механизма электропроводности полярных и неполярных жидких диэлектриков?

16. В чем особенность электропроводности твердых диэлектриков молекулярного и ионного строения?

17. Что такое радиационная проводимость?

18. Что такое диэлектрические потери?

19. Что такое тангенс угла диэлектрических потерь?

20. Что такое удельные диэлектрические потери и по какой формуле их можно рассчитать?

21. Что представляют собой потери на электропроводность и как они зависят от температуры и частоты?

22. Какие виды поляризации влияют на диэлектрические потери?

23. Как влияет частота переменного тока на тангенс угла диэлектрических потерь у неполярных диэлектриков?

24. Как влияет температура на тангенс угла диэлектрических потерь полярных и неполярных диэлектриков?

25. В каких диэлектриках возникают ионизационные потери и как они зависят от величины приложенного напряжения?

26. Чем обусловлены потери в неоднородных диэлектриках?

27. В чем заключается явление пробоя диэлектриков?

28. Как зависит электрическая прочность воздуха при нормальных условиях в однородном электрическом поле от расстояния между электродами?

29. От каких внешних факторов зависит характер пробоя жидких диэлектриков?

30. Чем обусловлен тепловой пробой твердого диэлектрика?

31. Опишите классы нагревостойкости электрической изоляции?

32. Какое практическое значение имеет теплопроводность электроизоляционных материалов? В каких единицах измеряется удельная теплопроводность?

33. Какие диэлектрики относятся к органическим?

34. Чем отличаются органические диэлектрики от неорганических? Приведите примеры органических и неорганических диэлектриков и укажите их основные характеристики, в частности допустимую рабочую температуру.

35. Назовите газообразные диэлектрики, обладающие повышенной, по сравнению с воздухом, электрической прочностью. Каковы их основные особенности?

36. Что представляет собой трансформаторное масло? Укажите его основные особенности как изоляционного материала и как охлаждающей

среды.

37. Чем отличаются процессы полимеризации и поликонденсации?

38. Опишите свойства гетинакса, технологию производства, укажите области применения.

39. Какие пропитывающие составы применяются при изготовлении лакотканей?

40. Чем отличаются термопластичные и термореактивные смолы? Приведите несколько примеров с описанием свойств.

41. Укажите основные виды кремнийорганических электроизоляционных материалов, их преимущества, недостатки и возможности.

42. Охарактеризуйте фторорганические электроизоляционные материалы (фторопласт-4, фторопласт-3).

43. Опишите важнейшие природные смолы и возможности использования их в электроизоляционной технике.

44. Какие масла являются высыхающими? В чем заключается сущность процесса высыхания растительных масел?

45. В чем отличие лаков от компаундов? Для чего применяются те и другие в электроизоляционной технике?

46. Дайте определение и классификацию электроизоляционных пластических масс. Каковы основные составные части пластмасс? В чем заключаются особенности пластмасс без наполнителя?

47. Сущность процесса вулканизации каучука. Для чего применяется вулканизация? Что такое эскапон?

48. Как получается стекловолокно? Опишите его свойства (в сравнении со свойствами других известных вам волокнистых материалов) и укажите области применения.

49. Какие материалы называются керамическими? Укажите важнейшие типы и области применения керамических электроизоляционных материалов.

50. Для чего и каким образом производится глазурование фарфора?

51. Где применяется слюда и изделия на ее основе? Дайте классификацию слюды по свойствам и назначению.

52. Укажите основные виды micaлитов (включая micaленты и micaфолы) и области применения в электро-, машино- и аппаратостроении.

53. Какая изоляция называется оксидной и как она получается на различных металлах и сплавах? Укажите возможности применения оксидной изоляции в электро- и радиопромышленности.

54. Перечислите известные вам эластомеры, их особенности и электрофизические свойства. Где они применяются?

Раздел 3. Полупроводниковые материалы

Литература: [1], гл. 8, 9; [2], гл. III, п. 3, гл. XV.

Полупроводники по удельному сопротивлению (10^{-6} – 10^{+8} Ом·м при 20°C) занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками. С точки зрения зонной теории твердого тела, к полупроводникам относятся те материалы, ширина запрещенной зоны (33) которых имеет величину в пределах от 0,05 до 3 эВ.

Полупроводники обладают рядом характерных только для них свойств:

- при введении в полупроводник малого количества примесей их удельное сопротивление резко изменяется;
- электропроводность полупроводников сильно зависит от интенсивности внешних энергетических воздействий – температуры, длины волны светового потока, освещенности, напряженности электрического и магнитного полей.

Управляемость электропроводностью полупроводниковых материалов положена в основу принципа действия соответствующих приборов: *терморезисторов, фоторезисторов, нелинейных резисторов (варисторов), тензорезисторов.*

Применение полупроводников с двумя типами проводимости в одном кристалле (электронной и дырочной), так называемых *p-n* переходов положено в основу работы диодов, транзисторов, тиристоров, варикапов, стабилитронов и других устройств.

В зависимости от природы различают следующие виды полупроводников.

1. *Простые полупроводники.* К ним относятся Si, Ge, Se, В, Р, As, S, Те J, а также некоторые модификации олова Sn (серое), сурьмы Sb и углерода С.

2. *Полупроводниковые химические соединения :*

- $A^{IV} B^{IV}$ (например, SiC); (здесь буквы А и В – символы химических элементов, цифры – валентности этих элементов);
- $A^{III} B^{V}$ (фосфи́ды, арсениды, антимониды, например, арсенид галлия AsGa, фосфид галлия PGa, антимонид индия JnSb и др.);
- $A^{II} B^{IV}$ (сульфи́ды, селениды, теллуриды, например, PbS, HgSe, CdTe и др.);

- оксиды металлов, например закись меди Cu_2O ;

- соединения сложного химического состава, например, $\text{Bi}_2 \text{Te}_{2,7} \text{Se}_{0,3}$.

3. *Полупроводниковые комплексы* – многофазные материалы с полупроводящей или проводящей фазами, например SiC и графит,

сцепленные глинистой, стеклянной или другой связкой (тирит, вилит, лэтин, силит).

4. *Органические полупроводники* – антрацен, полинафталин полиацетилен и др.).

5. *Стеклообразные полупроводники* (халькогенидные стекла).

6. *Жидкие полупроводники*.

Вопросы для самопроверки

1. Собственные (простые) полупроводники.

2. Каковы физические процессы, обуславливающие примесную проводимость в дырочных и электронных полупроводниках?

3. На какие свойства полупроводников влияет ширина запрещенной зоны?

4. Если в решетке Ge (IV группа) находится в качестве примеси элемент V - ой группы As, то какую проводимость она создает?

5. Какова температурная зависимость проводимости полупроводников и чем она обусловлена?

6. Каков характер зависимости удельной электропроводности полупроводников от напряженности электрического поля?

7. Укажите характеристики кремния и его легирующие элементы.

8. Укажите основные свойства и область применения германия.

9. Как влияет температура на подвижность носителей заряда в полупроводниках?

10. Что такое фотосопротивление и фотоэлементы? Какими свойствами они обладают и где применяются?

11. Какие полупроводниковые комплексы Вы знаете и где они применяются?

Раздел 4. Проводниковые материалы

Литература: [1], гл. 12, 13; [2], гл. III, п. 2, гл. XIV.

При изучении данной темы необходимо освоить следующее: тип связи элементов тонкой микроструктуры и природа электропроводности металлов и сплавов, основные свойства и характеристики проводниковых элементов.

Проводниковые материалы по применению классифицируют на *металлы и сплавы высокой проводимости, криопроводники и сверхпроводники, сплавы с повышенным электрическим сопротивлением, контактные материалы, сплавы для термонар, неметаллические*

проводниковые материалы, припои и пр.

Среди металлов высокой электрической проводимости широко распространены медь (удельное сопротивление $\rho = 0,017$ мкОм · м), алюминий ($\rho = 0,028$ мкОм · м) и железо ($\rho = 0,098$ мкОм · м). Имеют практическое значение серебро ($\rho = 0,006$ мкОм · м) и золото ($\rho = 0,022$ мкОм · м).

Электрические и механические характеристики проводников в значительной степени определяются наличием примесей и напряженностью структуры металла. Любые примеси снижают электропроводность металлов. Деформационное упрочнение ухудшает проводниковые свойства металлов и сплавов, но увеличивает их механическую прочность.

К *криопроводникам* относятся материалы, приобретающие при глубоком охлаждении (ниже -173°C) высокую электрическую проводимость, но не переходящие в сверхпроводниковое состояние. Одним из таких материалов является алюминий особой чистоты А999 (99,999 % Al). При температуре жидкого азота (минус $195,6^{\circ}\text{C}$) его удельное электрическое сопротивление составляет $0,003$ мкОм · м, а при температуре жидкого водорода (минус $252,6^{\circ}\text{C}$) – $0,00005$ мкОм · м.

Сверхпроводимость – явление резкого уменьшения сопротивления материала (практически до нуля) при понижении температуры.

Вещества, обладающие свойством сверхпроводимости, называются *сверхпроводниками* (СВП).

Применение СВП позволяет: уменьшить потери при передаче электрической энергии; увеличить КПД электрических машин и аппаратов до 90% и более; использовать эффект сверхпроводникового подвеса (левитации) в подшипниках без трения, в скоростных электропоездах и для других целей.

Сверхпроводниковое состояние веществ существует при температурах менее критической ($T < T_{\text{кр}}$), напряженности магнитного поля менее критической напряженности ($H < H_{\text{кр}}$) и плотности тока, индуцирующего магнитное поле, менее критического значения ($j < j_{\text{кр}}$).

К сплавам с повышенным удельным электрическим сопротивлением (не менее $0,3$ мкОм · м) относятся медноникелевые сплавы: манганин (МНМц 3-12), константан (МНМЦ 40-1,5); сплавы на основе никеля: нихромы (Х20Н80, Х15Н60), на железной основе: фехраль (Х13Ю4), хромель (ОХ23Ю5) и др.

Сплавы высокого электросопротивления применяют для изготовления нагревательных элементов электрических приборов и печей. Рабочие температуры таких сплавов до $900 - 1200^{\circ}\text{C}$.

Вопросы для самопроверки

1. Механизм электропроводности металлических проводниковых материалов.

2. Что называется удельным сопротивлением и температурным коэффициентом удельного сопротивления TK_ρ проводниковых материалов? В каких единицах измеряются и каковы их величины у различных металлов и сплавов?

3. Как изменяется удельное электрическое сопротивление металлического проводника в результате холодной пластической деформации.

4. Дайте сравнение свойств меди и алюминия.

5. Медные и алюминиевые сплавы, применяемые в электроэнергетике и электротехнике, их назначения и основные свойства.

6. Сталеалюминовые провода и проводниковый биметалл, их свойства и область применения.

7. Каковы преимущества бескислородной меди?

8. Какой материал называют твердой медью?

9. Какие металлы не переходят в сверхпроводниковое состояние даже при самых низких температурах?

10. Где применяются углеродные проводниковые материалы?

11. Назовите марки сплавов на основе системы железо-никель-хром, укажите их свойства.

12. Перечислите наиболее широко применяемые сплавы высокого сопротивления с указанием величин ρ и TK_ρ . Укажите назначение этих сплавов и допустимые рабочие температуры.

13. Какие сплавы высокого сопротивления применяются в измерительных приборах, реостатах, электронагревательных приборах и почему?

14. Укажите важнейшие материалы, применяемые для изготовления термопар. Как зависит термоэлектродвижущая сила от разности температур спаев термопары?

Раздел 5. Магнитные материалы

Литература: [1], гл. 14, 15; [2], гл. IV, XIII.

Наиболее широкое применение в электроэнергетике и электротехнике получили ферромагнитные и ферримагнитные материалы. В зависимости от

конфигурации петли магнитного гистерезиса их подразделяют на *магнитно-твердые* и *магнитно-мягкие*.

Магнитно-твердые сплавы используют для изготовления постоянных магнитов. Они имеют широкую петлю гистерезиса с большой коэрцитивной (размагничивающей) силой $H_c > 4$ кА/м и обладают значительной магнитной энергией, пропорциональной величинам H_c и остаточной магнитной индукции B_r .

Увеличение *коэрцитивной силы* магнитно-твердых сталей достигается получением неоднородной напряженной структуры, представленной высокоуглеродистым мартенситом с высокой плотностью дефектов строения.

Для постоянных магнитов небольшой мощности могут быть использованы углеродистые инструментальные стали. Обычно применяют высокоуглеродистые стали, легированные хромом и кобальтом (ЕХ3, ЕХ5К5 и др.). Легирующие элементы увеличивают прокаливаемость стали, повышают ее коэрцитивную силу и магнитную энергию. Широкое применение получили литые сплавы типа алнико, например ЮНДК15, ЮНДК40Т8АА, обладающие значительно большей коэрцитивной силой и магнитной энергией, чем легированные стали. В качестве материалов постоянных магнитов применяют сплавы системы Fe-Ni-Al, сплавы на основе РЗМ (Sm, Pг, Y), получаемые методом порошковой металлургии.

Из *магнитномягких* сплавов изготавливают электромагниты, магнитопроводы электрических машин, трансформаторов, электрических приборов и аппаратов. Основные требования, предъявляемые к магнитно-мягким материалам: малая коэрцитивная сила (узкая петля гистерезиса), высокая магнитная проницаемость, высокая индукция насыщения, малые потери на вихревые токи и перемагничивание, низкие значения H_c и высокая магнитная проницаемость μ достигаются в ферромагнетиках при однофазной близкой к равновесию структуре с минимумом внутренних напряжений.

Наиболее широкое распространение в качестве магнитно-мягких материалов, работающих в полях промышленной частоты (низкочастотные поля), получили кремнийсодержащие (электротехнические) стали. Основное назначение кремния – увеличение удельного электросопротивления стали, и, следовательно, сокращение потерь при перемагничивании. Дальнейшее уменьшение тепловых потерь достигается изготовлением магнитопроводов (роторов и статоров двигателей, сердечников трансформаторов и т.д.) из набора тонколистовых деталей с прослойкой изоляции (полимеров, оксидов).

Ферриты представляют собой материалы, состоящие из оксидов Fe, Zn, Mn, Ni, получаемые методом порошковой металлургии. Ферриты широко

применяют в устройствах, работающих в слабых полях на низких и высоких радиочастотах.

Вопросы для самопроверки

1. Классификация материалов по магнитным свойствам.
2. Какие химические элементы обладают ферромагнитными свойствами?
3. Укажите условия возникновения спонтанной намагниченности и, как следствие, высокой магнитной восприимчивости.
4. Что такое домены в магнитных материалах?
5. Как называется физическая величина, показывающая во сколько раз индукция магнитного поля в однородной среде отличается от индукции магнитного поля в вакууме?
6. Как называется материалы, атомы которых в отсутствие внешнего магнитного поля не имеют результирующего магнитного момента?
7. Что такое точка Кюри?
8. Какие материалы применяют для изготовления сердечников трансформаторов?
9. Почему сердечники из электротехнической стали изготавливают из тонких листов с прослойками изоляции?
10. Магнитострикционные материалы, их состав, свойства и назначение.
11. Что такое ферромагнитная керамика? Ее свойства и область применения.
12. Что представляют собой магнитодиэлектрики? Укажите их состав, свойства и назначение.
13. Какие материалы имеют прямоугольную петлю гистерезиса? Каковы их состав и структура? Коэффициент прямоугольности.
14. Как классифицируются магнитотвердые материалы, и каковы их характеристики?
15. Чем объясняются повышенные магнитные свойства сплавов с кристаллической текстурой?
16. Каковы конструкция, свойства и области применения магнитных лент?

СОДЕРЖАНИЕ И ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Правила оформления контрольной работы

Студент должен выполнить контрольную работу, которая включает 2 задачи и 5 вопросов. Вариант задания студента соответствует последней цифре номера зачетной книжки. Если последняя цифра в номере зачетной книжки 0, выполняется вариант контрольного задания № 10.

При выполнении контрольных работ необходимо придерживаться указанных ниже правил. Работы, выполненные без соблюдения этих правил, не зачитываются и возвращаются студенту для переработки.

1. Каждая контрольная работа должна быть выполнена в отдельной тетради в клетку. Необходимо оставлять поля шириной 4–5 см для замечаний рецензента.

2. На обложке тетради должны быть указаны фамилия, инициалы студента, учебный номер (шифр), номер учебной группы, название дисциплины; название учебного заведения, дата отсылки работы в университет и адрес студента. В конце работы следует расписаться.

3. В работу должны быть включены все задания, указанные в контрольной работе по положенному варианту. Контрольная работа, содержащая не все задания, а также задания не своего варианта, не засчитывается.

4. Ответы на вопросы надо располагать в порядке номеров, указанных в заданиях, сохраняя номера вопросов.

5. Перед ответом на каждый вопрос надо полностью выписать формулировку вопроса.

6. После получения рецензии на незачтенную работу студент должен исправить все отмеченные рецензентом ошибки и недочеты и выполнить все рекомендации рецензента. Если рецензент предлагает внести в ответы те или иные исправления или дополнения и прислать их для повторной проверки, то это следует сделать в короткий срок.

Варианты контрольной работы

ВАРИАНТ 1

1. Объясните зонную теорию твердого тела?
2. Что такое тангенс угла диэлектрических потерь? Какова векторная диаграмма токов в диэлектрике при переменном напряжении.

3. Собственные (простые) полупроводники.
4. Каков механизм электропроводности металлических проводниковых материалов.
5. Магнитострикция. Состав, свойства и назначение магнитострикционных материалов.
6. Задача №1, вариант 1.
7. Задача №2, вариант 1.

ВАРИАНТ 2

1. Каково расположение энергетических зон в диэлектриках, полупроводниках и проводниках в соответствии с зонной теорией твердого тела.
2. Что такое поляризация диэлектрика? Как количественно оценивается поляризация диэлектрика? Что называется диэлектрической проницаемостью, диэлектрической восприимчивостью, поляризуемостью частиц?
3. Каковы физические процессы, обуславливающие примесную проводимость в дырочных и электронных полупроводниках?
4. Что называется удельным сопротивлением и температурным коэффициентом удельного сопротивления проводниковых материалов? В каких единицах измеряются и каковы их величины у различных металлов и сплавов?
5. Магнитотвердые материалы. Виды, состав, свойства, применение.
6. Задача №1, вариант 2.
7. Задача №2, вариант 2.

ВАРИАНТ 3

1. В чем заключается различие полярных и неполярных веществ? Приведите примеры.
2. Какова зависимость диэлектрической проницаемости жидких полярных и неполярных диэлектриков от частоты?
3. Каков характер зависимости удельной электропроводности полупроводников от напряженности электрического поля?
4. Как изменяется удельное электрическое сопротивление металлического проводника в результате холодной пластической деформации
5. Магнитомягкие материалы. Виды, состав, свойства, применение.
5. Задача №1, вариант 3.

6. Задача №2, вариант 3.

ВАРИАНТ 4

1. Какие заряды в диэлектриках являются сильно связанными, слабо связанными и свободными?

2. Рассмотрите основные виды слюдяных материалов и области их применения.

3. Электропроводность полупроводниковых материалов. Зависимость электропроводности от различных факторов.

4. Рассмотрите материалы, применяемые для изготовления термопар. Как зависит термоэлектродвижущая сила от разности температур спаев термопары?

5. Что представляют собой магнитодиэлектрики? Укажите их состав, свойства и назначение.

6. Задача №1, вариант 4.

7. Задача №2, вариант 4.

ВАРИАНТ 5

1. Чем отличаются процессы полимеризации и поликонденсации при получении полимерных диэлектрических материалов?

2. Газообразные диэлектрики. Состав, свойства, области применения.

3. Каковы физико-химические процессы, определяющие примесную проводимость в дырочных и электронных полупроводниках?

4. Сплавы с повышенным электрическим сопротивлением. Состав, свойства, области применения.

5. Магнитная анизотропия в магнитном материале.

6. Задача №1, вариант 5.

7. Задача №2, вариант 5.

ВАРИАНТ 6

1. Дефекты кристаллической решетки веществ.

2. Какая изоляция называется оксидной и фторидной, как она получается на различных металлах и сплавах? Укажите возможности применения оксидной и фторидной изоляции в электроэнергетике и электротехнике.

3. Полупроводниковые химические соединения. Состав. Свойства. Области применения.

4. Материалы для скользящих контактов.

5. Природа ферромагнетизма.

6. Задача №1, вариант 5.

7. Задача №2, вариант 1.

ВАРИАНТ 7

1. Физические состояния аморфных полимеров.

2. Какова зависимость диэлектрической проницаемости различных типов диэлектриков от температуры и частоты?

3. Полупроводниковые химические соединения типа $A^{IV}B^{IV}$. Виды, свойства, области применения.

4. Металлы и сплавы высокой проводимости. Виды, свойства, применение.

5. Магнитная проницаемость материалов.

6. Задача №1, вариант 4.

7. Задача №2, вариант 2.

ВАРИАНТ 8

1. Зонная теория твердого тела.

2. Что такое диэлектрические потери? Вывод формул удельных диэлектрических потерь при постоянном и переменном напряжениях.

3. Полупроводниковые химические соединения типа $A^{III}B^{IV}$. Виды, свойства, области применения.

4. Медь и ее сплавы. Виды, свойства, области применения.

5. Какие материалы имеют прямоугольную петлю гистерезиса? Каковы их состав и строение? Коэффициент прямоугольности.

6. Задача №1, вариант 2.

7. Задача №3, вариант 3.

ВАРИАНТ 9

1. Какие заряды в диэлектриках являются сильно связанными, слабо связанными и свободными?

2. Нефтяные электроизоляционные масла.

3. Полупроводниковые химические соединения типа $A^{II}B^{IV}$. Виды, свойства, области применения.
4. Сверхпроводники и криопроводники. Виды, свойства, применение.
5. Магнитные потери в магнитных материалах.
6. Задача №1, вариант 1.
7. Задача №2, вариант 4.

ВАРИАНТ 10

1. Каково расположение энергетических зон в диэлектриках, полупроводниках и проводниках в соответствии с зонной теорией твердого тела.
2. Керамические диэлектрики. Виды, свойства, применение.
3. Зависимость удельной электропроводности полупроводников температуры.
4. Что называется удельным электрическим сопротивлением и температурным коэффициентом удельного электрического сопротивления проводниковых материалов? В каких единицах они измеряются и каковы их величины у различных металлов и сплавов.
5. Магнитомягкие материалы. Виды, свойства, применение.
6. Задача №1, вариант 2.
7. Задача №2, вариант 5.

ЗАДАЧА № 1

На две противоположные грани куба с ребром d , изготовленного из диэлектрика с удельным объемным сопротивлением ρ_v и удельным поверхностным сопротивлением ρ_s , нанесены слои металла, служащие электродами, через которые куб включается в цепь.

Определите величину установившегося тока через куб и потери мощности в нем при постоянном напряжении.

Варианты заданий к задаче №1

№ п/п	Диэлектрик	ρ_v Ом·м	ρ_s , Ом	$d \cdot 10^3$, м	U , кВ
1.	Полиэтилен	$5 \cdot 10^{14}$	10^{15}	8	2
2.	Политетрафторэтилен (фторопласт – 4)	10^{15}	10^{16}	10	3
3.	Поливинилхлорид	$5 \cdot 10^{12}$	10^{12}	15	13
4.	Полиамид	10^{11}	10^{10}	10	1,5
5.	Микалекс	10^{11}	10^{11}	10	3

Формулы, необходимые для решения задач № 1 и № 2

Удельное объемное сопротивление диэлектрика ρ_v (Ом·м) зависит как от природы диэлектрика, так и от геометрических размеров элемента диэлектрика:

$$\rho_v = R_v \frac{S}{d}, \quad (1)$$

где d – толщина диэлектрика, м; S – площадь электрода, м²; R_v – объемное омическое сопротивление, Ом.

Удельное поверхностное сопротивление ρ_s (Ом) определяется по формуле:

$$\rho_s = R_s \frac{l}{d}, \quad (2)$$

где R_s – поверхностное омическое сопротивление, Ом; l – периметр элемента диэлектрика, м; d – толщина элемента диэлектрика, м.

Зная величину приложенного напряжения U (В) и величину тока, проходящего через образец I_v (А), можно найти *объемное сопротивление диэлектрика* R_v , Ом:

$$R_v = \frac{U}{I_v}. \quad (3)$$

Удельные потери мощности при постоянном напряжении U (Вт/м³)

определяются по формуле:

$$\rho_{-} = \gamma \cdot E^2, \quad (4)$$

где $\gamma = \frac{1}{\rho_v}$, 1/(Ом·м); $E = \frac{U}{d}$, В/м.

Удельные потери мощности при переменном напряжении ρ_{\sim} (Вт/м³) определяются по формуле:

$$\rho_{\sim} = \frac{E^2 f \varepsilon \operatorname{tg} \delta}{1.8 \cdot 10^{10}}, \quad (5)$$

где E – напряженность электрического поля, В/м; f – частота, Гц; $\operatorname{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ № 1

Дано:

$$d = 10^{-2} \text{ м},$$

$$U = 3 \text{ кВ},$$

$$\rho_v = 10^{11} \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

$$\rho_s = 10^{11} \text{ Ом}.$$

Определить: I и ρ_{-} .

Решение:

$$\rho_v = R_v \frac{S}{d} \Rightarrow R_v = \rho_v \frac{d}{S} = \rho_v \frac{d}{d^2} = \frac{10^{11} \cdot 10^{-2}}{10^{-4}} = 10^{13} \text{ Ом},$$

$$\rho_s = R_s \frac{S'}{d} \Rightarrow R_s = \rho_s \frac{d}{S'} = \rho_s \frac{d}{4d} = \frac{10^{11}}{4} = 2,5 \cdot 10^{10} \text{ Ом},$$

$$R = \frac{R_s \cdot R_v}{R_s + R_v} = \frac{10^{13} \cdot 2,5 \cdot 10^{10}}{10^{13} + 2,5 \cdot 10^{10}} = \frac{2,5 \cdot 10^{23}}{1,0025 \cdot 10^{13}} = 2,49 \cdot 10^{10} \text{ Ом},$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{3 \cdot 10^3}{2,49 \cdot 10^{10}} = 1,21 \cdot 10^{-7} \text{ А},$$

$$\rho_{-} = \gamma \cdot E^2 = \frac{1}{\rho_V} \cdot \frac{U^2}{d^2} = \frac{9 \cdot 10^6}{10^{11} \cdot 10^{-4}} = 0.9 \text{ Вт/м}^3,$$

Ответ: $I = 1,21 \cdot 10^{-7} \text{ А}$, $\rho_{-} = 0,9 \text{ Вт/м}^3$.

ЗАДАЧА № 2

Диэлектрик плоского конденсатора имеет удельное сопротивление ρ_V , относительную диэлектрическую проницаемость ε и тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$. Толщина диэлектрика d , площадь обкладок (с каждой стороны) S .

Определите ток утечки и диэлектрические потери при постоянном напряжении U , а также диэлектрические потери при переменном напряжении U и частоте f .

Таблица 2

Варианты заданий к задаче № 2

№ п/п	Тип конденсатора	ρ_V , Ом·м	ε	$\text{tg}\delta$	$d \cdot 10$, м	$S \cdot 10^3$, м	U , кВ	f , Гц
1.	Слюдяной	$5 \cdot 10^{13}$	7	$3 \cdot 10^{-4}$	0,5	5	240	10^5
2.	Стеклоэмалевый	10^{14}	6	$1,5 \cdot 10^{-3}$	1	9	500	10^6
3.	Полистирольный	10^{15}	2,5	$3 \cdot 10^{-4}$	0,2	8	50	10^6
4.	Бумажный	$7 \cdot 10^{12}$	3,7	$5 \cdot 10^{-3}$	0,4	12	400	50
5.	Керамический	10^{14}	10	10^{-4}	1,5	10	500	50

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ № 2

Дано:

$$\rho_V = 5 \cdot 10^{12} \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$\varepsilon = 3,5;$$

$$\text{tg } \delta = 4 \cdot 10^{-3};$$

$$d = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$S = 11,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2;$$

$$U = 390 \text{ кВ};$$

$$f = 45 \text{ Гц}.$$

Определить: I , ρ_- и ρ_{\sim}

Решение:

$$\rho_V = R_V \frac{S}{d} \Rightarrow R_V = \rho_V \frac{d}{S} = \frac{5 \cdot 10^{12} \cdot 3 \cdot 10^{-2}}{11 \cdot 10^{-3}} = \frac{15}{11} \cdot 10^{13} = 1,36 \cdot 10^{13} \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{390 \cdot 10^3}{1,36 \cdot 10^{13}} = \frac{286,7}{10^{10}} = 2,9 \cdot 10^{-8} \text{ А},$$

$$\rho_- = \gamma \cdot E^2 = \frac{1}{\rho_V} \cdot \frac{U^2}{d^2} = \frac{390^2 \cdot 10^6}{5 \cdot 10^{12} \cdot (3 \cdot 10^{-2})^2} = 33,8 \text{ Вт} / \text{м}^3,$$

$$\rho_{\sim} = \frac{E^2 f \varepsilon \text{tg} \delta}{1,8 \cdot 10^{10}} = \frac{U^2}{d^2} \frac{f \varepsilon \cdot \text{tg} \delta}{1,8 \cdot 10^{10}},$$

$$\rho_{\sim} = \frac{390^2}{(3 \cdot 10^{-2})^2} \cdot \frac{45 \cdot 3,5 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{1,8 \cdot 10^{10}} = 5,9 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} / \text{м}^3.$$

Ответ: $I = 2,9 \cdot 10^{-8} \text{ А}; \rho_- = 33,8 \text{ Вт} / \text{м}^3; \rho_{\sim} = 5,9 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} / \text{м}^3.$

**Контрольные вопросы
к дифференцированному зачету по дисциплине «Электротехническое и
конструкционное материаловедение»**

1. Тип химической связи в тонкой электронно-ядерной микроструктуре проводников, диэлектриков и полупроводников.
2. Классификация электротехнических материалов. Зонная теория твердого тела.
3. Относительная диэлектрическая проницаемость диэлектриков. Поляризованность диэлектриков. Вектор электрического смещения.
4. Электронная поляризация диэлектриков. Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости.
5. Что такое ионная поляризация диэлектриков.
6. Дипольно-релаксационная поляризация. Время релаксации. Зависимость относительной диэлектрической проницаемости полярного диэлектрика от частоты приложенного напряжения и температуры.
7. Спонтанная (самопроизвольная) поляризация диэлектриков. Зависимость поляризованности сегнетоэлектриков и относительной диэлектрической проницаемости от напряженности электрического поля и температуры.
8. Что такое удельное объемное и удельное поверхностное сопротивления диэлектриков. Удельная проводимость диэлектриков.
9. Основное уравнение электропроводности. Носители зарядов в диэлектрике.
10. Электропроводность газообразных диэлектриков. Несамостоятельная и самостоятельная электропроводность. Зависимость плотности тока от напряженности электрического поля.
11. Электропроводность жидких диэлектриков. Собственная и примесная электропроводность. Зависимость проводимости и удельного сопротивления от температуры.
12. Электропроводность твердых диэлектриков. Ионная примесная и собственная электропроводность. Электронная проводимость твердых диэлектриков. Зависимость плотности тока от напряженности электрического поля. Зависимость удельного сопротивления от влажности диэлектрика.
13. Влияние ионизирующих излучений на электропроводность твердых диэлектриков.

14. Ток утечки. Полные и удельные диэлектрические потери при постоянном напряжении.

15. Угол диэлектрических потерь, тангенс угла диэлектрических потерь. Полные и удельные диэлектрические потери при переменном напряжении.

16. Виды диэлектрических потерь в электроизоляционных материалах. Диэлектрические потери в газообразных диэлектриках. Зависимость $\operatorname{tg} \delta$ газообразных диэлектриков от напряжения.

17. Диэлектрические потери в жидких диэлектриках. Зависимости $\operatorname{tg} \delta$ от температуры и частоты приложенного напряжения для неполярных и полярных жидких диэлектриков.

18. Диэлектрические потери в твердых диэлектриках молекулярной, ионной, неоднородной структуры. Потери в сегнетоэлектриках.

19. Пробой и перекрытие диэлектриков. Характеристики электрической прочности. Виды пробоя диэлектриков.

20. Пробой газообразных диэлектриков. Механизм пробоя. Зависимость $E_{\text{пр}}$ от давления, расстояния между электродами, частоты приложенного напряжения.

21. Пробой жидких диэлектриков. Виды пробоя. Механизм пробоя жидкостей с газовыми, жидкими и твердыми включениями.

22. Пробой твердых диэлектриков. Виды пробоя. Особенности теплового и электрохимического пробоя. Трекинговость и дугостойкость.

23. Тепловые свойства диэлектриков: нагревостойкость, температуры вспышки, воспламенения, самовоспламенения; холодостойкость, теплопроводность, температурный коэффициент линейного расширения.

24. Механические свойства диэлектриков. Вязкость жидких диэлектриков.

25. Влажностные свойства диэлектриков: гигроскопичность, смачиваемость, влагопроницаемость. Химическая стойкость, радиационная стойкость, тропикостойкость диэлектриков.

26. Классификация диэлектрических материалов. Газообразные диэлектрики.

27. Жидкие диэлектрики. Нефтяные масла: трансформаторное, конденсаторное, кабельное. Состав, технология производства, свойства, применение, очистка и регенерация.

28. Трудногорючие и негорючие жидкие диэлектрики: хлордифенилы, кремнийорганические и фторорганические жидкости. Состав, свойства, применение.

29. Общие свойства полимеров: группы высокомолекулярных соединений, реакции полимеризации и поликонденсации, линейные, пространственные, термопластичные и термореактивные полимеры, физические состояния полимеров.

30. Линейные неполярные полимеры: полиэтилен, политетрафторэтилен, полистирол. Общие и электрические свойства, применение.

31. Линейные полярные полимеры: поливинилхлорид, политрифторхлорэтилен. Общие и электрические свойства, применение.

95. Полярные поликонденсационные полимеры: эпоксидные, фенолформальдегидные и кремнийорганические смолы. Общие и электрические свойства, применение.

32. Пластмассы. Состав, способы переработки в изделия, применение.

33. Неорганическое стекло. Состав, строение, свойства, применение в электроэнергетике и других областях.

34. Электрорадиотехническая керамика. Виды, состав, способы переработки в изделия, свойства, применение.

35. Электротехнические резины. Состав, свойства, технология переработки в изделия, применение в электроэнергетике.

36. Активные диэлектрики: сегнетоэлектрики, пьезоэлектрики, пироэлектрики, диэлектрики для оптического квантового генератора и др.

37. Слоистые пластики: гетинакс, текстолит, древесностружечная плита и др.

38. Слюдяные материалы.

39. Природные смолы и воскообразные диэлектрики.

40. Волокнистые диэлектрические материалы.

41. Электроизоляционные лаки, эмали и компаунды.

42. Электрические характеристики проводниковых материалов: удельная проводимость, удельное сопротивление, температурный коэффициент удельного сопротивления. Зависимость удельного сопротивления сплавов от состава.

43. Металлы и сплавы высокой проводимости: марки, свойства, применение.

44. Сверхпроводники и криопроводники.

45. Сплавы с повышенным электрическим сопротивлением.

46. Контактные материалы.

47. Углеродные проводниковые материалы.

48. Сплавы для термопар.

49. Припои и флюсы.

50. Магнитное поле и его характеристики: напряженность, магнитная индукция. Магнитные характеристики вещества: магнитная индукция, намагниченность, относительная и абсолютная магнитная проницаемость.

51. Классификация веществ по магнитным свойствам: диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики, антиферромагнетики, ферримагнетики.

52. Зависимость магнитной индукции и относительной магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля для ферромагнетиков (магнитный гистерезис).

53. Магнитная анизотропия, магнитострикция, потери энергии магнитного поля и магнитном материале.

54. Магнитомягкие низкочастотные материалы с высокой индукцией насыщения: технически чистое железо, нелегированная электротехническая сталь, легированная электротехническая сталь.

55. Магнитомягкие низкочастотные материалы с высокой магнитной проницаемостью: пермаллой, альсиферы, железо-кобальтовые сплавы, аморфные сплавы.

56. Магнитомягкие низкочастотные сплавы с особыми свойствами.

57. Высокочастотные магнитомягкие материалы: ферриты.

58. Магнитотвердые материалы. Свойства, виды: легированные мартенситные стали, литые сплавы.

59. Магнитотвердые материалы. Свойства, виды: ферриты, металлокерамические и металлопластичные магниты, материалы для записи информации,

60. Определить тип сплава (цветные металлы и сплавы, припой, магнитомягкий материал и др.), химический состав и назначение: М00б, М3, ММ, МТ, А97, А7Е, АТ, АМ, МНМц-40-1,5, Х20Н80, МНЦ-15-20, Х13Ю4, ПМЦ 48, ПМЦ 54, ПСр 70, ПСр 45, ПСр 10, ПОС-90, ПОС-61, ПОС-18, ЭАА, 1211, 2312, 3416, 80НХС, ЕХ9К15М, ЮНДК35Т5.

Оформление титульного листа контрольной работы

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра «Материаловедение и технологии материалов»

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

по дисциплине

**«ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ И КОНСТРУКЦИОННОЕ
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»**

Фамилия, имя, отчество студента

Группа

№ варианта контрольной работы

Адрес, почтовый индекс

Телефоны (домашний, мобильный)

Казань - 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
Цель освоения учебной дисциплины.....	3
Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы.....	4
Результаты образования, формируемые в процессе освоения дисциплины....	5
Структура дисциплины «Материаловедение»	7
Содержание разделов дисциплины.....	7
Литература	11
Общие рекомендации по работе над дисциплиной.....	13
Методические указания к изучению дисциплины	15
Содержание и правила выполнения контрольной работы	28
Приложения.....	37

Учебное издание

Составитель: Сухарников Александр Евгеньевич

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ И КОНСТРУКЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Учебная программа

Для студентов заочной формы обучения

Кафедра материаловедения и технологии материалов КГЭУ

Редактор издательского отдела

Компьютерная верстка

Подписано в печать

Формат 60 × 84/16. Бумага ВХИ. Гарнитура «Times». Вид печати РОМ.

Усл. печ. л. 2,5 Уч.-изд. л. 2,77. Тираж 2000 экз. Заказ № 3326

Издательство КГЭУ, 420066, Казань, Красносельская, 51

Типография КГЭУ, 420066, Казань, Красносельская, 51