



Министерство образования Республики Беларусь
Филиал Учреждения образования «Брестский
государственный технический университет»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора Филиала
БрГТУ Политехнический колледж
по учебной работе

_____ С. В. Маркина

« ____ » _____ 2016 г.

ЭЛЕКТРОРАДИОМАТЕРИАЛЫ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для выполнения домашних контрольных работ
для учащихся специальности

2-39 02-32 «Проектирование и производство радиоэлектронных средств»

_____ заочная форма обучения _____

*(форма обучения)

Разработала Л.П.Бойко, преподаватель Филиала БрГТУ Политехнический колледж.

Методические указания разработаны на основании учебной программы
«Электрорадиоматериалы»

(название программы)

Утверждённой директором Филиала БрГТУ Политехнический колледж.

(кем и когда)

15.06.2016 года

Методические указания обсуждены и рекомендованы к использованию на заседании
цикловой комиссии радиотехнических дисциплин

_____ Протокол № _____

Председатель цикловой комиссии _____
(подпись)

Л.П.Бойко _____
(инициалы, фамилия)

Согласовано
Методист заочного отделения _____

И.П.Осипенко
(ф.и.о.)

ВВЕДЕНИЕ

Программа дисциплины «Электрорадиоматериалы» предусматривает изучение наиболее современных и перспективных электрорадиоматериалов и их применение, прогрессивных методов их получения, основных физико-химических, механических свойств, методов исследования этих свойств.

Изучение дисциплины основывается на знаниях, полученных учащимися по химии, физике. В свою очередь он является базой для изучения специальных дисциплин «Электрорадиоизмерения», «Основы электроники и микроэлектроники», «Электрорадиоэлементы и устройства функциональной электроники» и других дисциплин.

Особое внимание при изучении курса следует обратить на физические процессы, протекающие в электрорадиоматериалах под воздействием электрических и магнитных полей и при изменении условий окружающей среды.

В соответствии со стандартом специальности 2-39 02 02 «Проектирование и производство радиоэлектронных средств» в результате изучения дисциплины выпускник должен в области электрорадиоматериалов:

знать на уровне представления:

- физико-химические процессы, определяющие основные свойства материалов;
- особенности электро- и радиотехнических материалов;
- энергетическую зонную диаграмму твердых тел;

знать на уровне понимания:

- классификацию, свойства, основные характеристики и параметры материалов электронной техники;
- структуру и свойства конструкционных материалов;
- зависимость свойств конструкционных и электротехнических материалов от внешних факторов;

уметь:

- определять свойства и характерные особенности материалов;
- классифицировать материалы по основным признакам;
- выбирать материалы в соответствии с их назначением и эксплуатацией в определенных условиях.

Настоящее пособие содержит программу дисциплины, методические указания по изучению разделов и тем, перечень учебной литературы, вопросы для самопроверки, задания к контрольным работам с краткими методическими указаниями по их выполнению.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Основной формой изучения дисциплины является самостоятельная работа учащихся над учебниками и учебными пособиями. Учебным планом предусмотрены установочные и обзорные занятия. Установочные занятия проводятся перед изучением дисциплины с целью ознакомления учащихся с его содержанием и методикой его дальнейшего изучения. Обзорные занятия проводятся в период лабораторно-экзаменационной сессии после самостоятельного изучения учащимися дисциплины с целью помочь систематизировать знания, полученные в процессе изучения, и ответить на возникшие при этом вопросы. Кроме этого по основным разделам курса учащийся может получить консультацию по всем вопросам теории дисциплины.

Вопросы, подробно изложенные в учебной литературе, в данных методических указаниях не рассматриваются, указывается лишь рекомендуемый учебник.

Изучить каждую тему рекомендуется в такой последовательности. На первом этапе внимательно и вдумчиво прочитать в учебной литературе содержание всей темы, обратив внимание на общий подход к изучаемому вопросу. На втором этапе материал должен быть изучен во всех подробностях. Для самоконтроля усвоения материала необходимо ответить на вопросы для самоконтроля.

Программой предусмотрено выполнение учащимися лабораторных, практических работ по изучению и исследованию электрорадиоматериалов.

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Журавлёва, Л.В.** Электроматериаловедение/**Л.В. Журавлева. М.,**
2. 2000.
3. **Калинин, Н.Н.,** Электрорадиоматериалы /**Г.Л. Скибинский, П.П.**
Новиков, Н.Н. Калинин. М., 1981.
4. **Богородицкий, Н.П.** Электротехнические материалы / **В.В. Пасынков,**
Б.М. Тареев, Н.П. Богородский. Л., 1985.
5. **Курлин, М.В.** Электрорадиоматериалы/**М.В. Курлин. Л., 1969.**
6. **Справочник** по электротехническим материалам в 3-х томах /под ред.
Ю.В. Корицкого, В.В. Пасынкова, Б.М. Тареева. М.,1987.
7. **Корицкий, Ю.В.** Электротехнические материалы. /**Ю.В. Корицкий.**
М., 1976.
8. **Справочник** «Материалы в приборостроении и автоматике» / под ред.
Ю.М. Пятина. М., 1982.
9. **Казарновский, Д.П.,** Радиотехнические материалы / **Д.П.**
Казарновский, С.А. Яманов. М., 1972.
10. **Технология** металлов и конструкционные материалы /под ред. **Б.А.**
Кузьмина. М., 1989.
11. **ГОСТ 26246** Материал электроизоляционной фольгированной для
печатных плат
12. **ГОСТ 2718** Гетенакс электротехнический
13. **ГОСТ 12652** Стеклотекстолит электротехнический
14. **ГОСТ 4.73** Материалы электроизоляционные
15. **ГОСТ 13526** Лаки и эмали электроизоляционные
16. **ГОСТ 26130** Бумага электроизоляционная
17. **ГОСТ 21427** Сталь электротехническая тонколистовая
18. **ГОСТ 1050** Стали конструкционные качественные
19. **ГОСТ 380** Стали конструкционные обычного качества

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ С МЕТОДИЧЕСКИМИ УКАЗАНИЯМИ ПО ИЗУЧЕНИЮ СОДЕРЖАНИЯ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ

Введение

Цели и задачи изучения дисциплины. Значение дисциплины и ее связь с другими специальными дисциплинами. Принципы и явления, лежащие в основе электроматериаловедения. Понятия «материаловедение», «электрорадиоматериаловедение», Классификация электрорадиотехнических материалов. Общие требования, предъявляемые к материалам электронной техники.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В этом курсе изучают материалы, широко применяемые в электрорадиоэлектронике, микроэлектронике и оптоэлектронике.

Под электрорадиоматериалами понимают материалы, у которых первостепенное значение имеют их свойства и характеристики в электрических, магнитных и электромагнитных полях.

По поведению в электрическом поле эти материалы подразделяются на проводниковые, полупроводниковые и диэлектрические; по поведению в магнитном поле на магнитные и немагнитные.

По агрегатному состоянию на жидкие, твердые, газообразные. Классификация материалов приведена в [2]. О роли электрорадиоматериалов можно судить, по тому фактору, что в выпускаемых в настоящее время приборах выходные характеристики не столько зависят от схемных решений, сколько от свойств использованных электрорадиоматериалов и совершенства технологических процессов их изготовления. Неправильный выбор материала может привести к резкому изменению электрических характеристик или даже к выходу из строя отдельных узлов радиоэлектронной аппаратуры (РЭА)

Сведения об увеличении производства электрорадиоматериалов, перспективах их развития следует получать их сообщений периодической печати и журналов.

Раздел 1.Физико-химические основы материаловедения

1.1 Общие сведения о строении веществ

Агрегатное состояние вещества. Типы химических связей: ковалентная, ионная, металлическая, молекулярная.

Строение твердых веществ:кристаллическое(моно-и поликристаллическое), аморфное, жидкокристаллическое. Типы

кристаллических решеток. Полиморфизм. Анизотропия, изотропия. Индексы Миллера. Макро- и микроструктура, методы исследования. Виды дефектов кристаллической решетки.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении этой темы следует понять, что свойства металлов зависят от их строения. Все вещества состоят из атомов. *Атом* представляет собой систему состоящую из положительного заряженного ядра, вокруг которого вращаются отрицательно заряженные электроны. Внешние электроны могут отрываться от одного атома и присоединяться к другому атому, изменяя число его внешних электронов. Такие электроны называются *валентными*. Атомы потерявшие или присоединившие к себе электроны оказываются положительно или отрицательно заряженными и называются *ионами*.

Из атомов строятся молекулы. Связи, благодаря которым происходит объединение атомов в молекулы, называют *химическими*.

Способность атомов вступать в соединения с атомами других веществ и образовывать молекулы определяет химические свойства вещества. Молекула является наименьшей частицей вещества, которая сохраняет его химические свойства.

При изучении темы необходимо выделить основные определения и понятия:

кристаллическая решетка;

полиморфизм или аллотропия - способность металлов иметь различные формы кристаллической решетки;

анизотропия - неодинаковые свойства кристалла в различных направлениях;

дефекты кристаллических решеток.

При изучении темы следует разобраться не только в типах решеток, но и в сущности процесса кристаллизации. Все эти вопросы хорошо изложены в рекомендованной литературе [2]. С материалом этой темы учащиеся частично знакомились в курсах физики, химии.

1.2 Механические и теплофизические свойства материалов

Виды деформации. Основные механические свойства: прочность, пластичность, упругость, твердость, хрупкость, вязкость. Параметры, определяющие механические качества. Испытание на растяжение. Диаграмма растяжения.

Понятие плотности. Легкие и тяжелые материалы. Термическое расширение. Температурный коэффициент линейного расширения. Плавление. Классификация металлов по температуре плавления. Кристаллизация. Кривые охлаждения. Рекристаллизация. Теплопроводность

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

К механическим свойствам материалов относятся твердость, упругость, вязкость, пластичность, линейное расширение, хрупкость, прочность, усталость.

Твердость - это способность материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого тела.

Наибольшее распространение определения твердости материала получили методы: Бринеля - метод вдавливания в материал стального шарика, Роквелла - вдавливания конуса.

Механические испытания по способу нагружения образцов разделяются на статические, при которых нагрузки прилагаются к образцу плавно, с постепенным возрастанием от нулевого до максимального значения и динамические, отличающиеся резким приложением нагрузок в течение сотых долей секунды. К статическим относятся испытания на растяжение, изгиб, сжатие, кручение.

По мощности материалы делятся на легкие и тяжелые. К легким относятся материалы, плотность которых меньше 5 мг/м^3 . К тяжелым относят подавляющее большинство металлов, используемых в технике (железо, медь, никель, олово и др.).

Температурный коэффициент линейного расширения позволяет определить изменения любых геометрических размеров изделий (длины, ширины, толщины) при нагревании и учитывается при сопряжении различных материалов в той или иной конструкции.

Переход металлов и сплавов из твердого состояния в жидкое называется плавлением. Как правило, температура плавления металлов высока, за исключением ртути, у которых она составляет $-38,9^\circ\text{C}$. Другие металлы и сплавы являются жидкими проводниками лишь при повышенных или высоких температурах.

Кристаллизация жидких металлов и сплавов начинается при понижении температуры расплава до определенного значения. Температура кристаллизации зависит от чистоты расплава и внешних факторов (скорости отвода теплоты, давления и др.). Переход металлов и сплавов из жидкого состояния в твердое и обратно принято излагать графически в виде диаграмм состояния.

Теплопроводность металлов велика и превосходит теплопроводность диэлектриков примерно на 2-3 порядка. Металлы с высокой проводимостью являются и хорошими проводниками тепла.

При изучении этой темы можно использовать стандарты на методы испытаний механических характеристик, справочную и учебную литературу [1], [9].

1.3 Коррозия металлов и сплавов

Классификация коррозии по характеру среды, по виду коррозионного разрушения, по механизму действия. Особенности химической и электрохимической коррозии. Защита металлов и сплавов от коррозии.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Разнообразные процессы коррозии можно классифицировать, исходя из различных основ. Так, по характеру среды, в которой протекают эти процессы, по виду коррозионного разрушения, по механизму действия различают:

а) коррозию химическую,

б) коррозию электрохимическую двух разновидностей: одна из них вызывается работой гальванических пар, другая — электролизом от внешнего источника тока.

Как при химической, так и при электрохимической коррозии происходят окислительно-восстановительные реакции, в результате которых металл из электронейтрального состояния переходит в положительно заряженные ионы.

Таким образом, коррозия металла в широком смысле — это переход его из электронейтрального (атомподобного) в ионное состояние.

Различие между химической и электрохимической коррозией заключается в том, что при первой переход электронов от металла к частицам среды, с ним соприкасающимся, происходит вплотную и передаваемые электроны не проявляют себя в форме электротока, так как здесь нет проводника, соединяющего восстановитель и окислитель.

1.4 Энергетическая зонная теория твердых тел

Энергетическая зонная структура твердых тел: металлов, диэлектриков, полупроводников собственных и примесных п- и р-типа проводимости. Электропроводность. Удельное электрическое сопротивление проводниковых, полупроводниковых и диэлектрических материалов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В изолированном атоме электроны вращаются вокруг ядра на определенных орбитах. Каждой орбите соответствует строго определенное значение энергии, которой может обладать электрон, т.е. каждая орбита представляет собой определенный энергетический уровень. В кристаллической решетке, состоящей из нескольких атомов, отдельные

энергетические уровни расщепляются на подуровни, которые образуют энергетические зоны. Зона, заполненная электронами, называется *валентной*. Свободная зона, куда электрон может перейти если ему сообщить дополнительную энергию, называется *зоной проводимости*. Промежуток между валентной зоной проводимости называется *запрещенной зоной*.

Материалы, у которых *запрещенная зона* равна или близка к нулю называются полупроводниковыми материалами. Если значение запрещенной зоны составляет 0,1...0,3 эВ, то материалы относят к полупроводникам. Если значение запрещенной зоны превышает несколько электрон-вольт, то материалы относятся к диэлектрикам [1], [2].

1.5 Сплавы, их состав, виды, особенности. Диаграмма состояния сплавов

Кристаллизация металлов. Кривые нагрева и охлаждения. Физико химический анализ. Построение диаграммы плавкости. Типы двойных сплавов: твердые растворы, химические соединения, механические смеси. Способы получения сплавов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Диаграммы состояния твердых растворов с неограниченной растворимостью обоих компонентов, механических смесей (эвтектического типа), химических соединений твердых растворов с ограниченной растворимостью. Диаграмма состояния сплавов железо-углерод (Fe- C), фазовые и структурные превращения. Связь между составом сплава и его свойствами. Г рафики Курнакова. Определение фазового состава сплава.

Сплавом называется вещество, состоящее из двух или нескольких компонентов, полученное сплавлением, спеканием, электролизом, конденсацией или металлизацией.

Компонентами называются элементы, входящие в состав сплава. По числу компонентов они делятся на двойные, тройные и сложные. В зависимости от характера компонентов различают три структуры сплавов:

механическая смесь - образуется в том случае, когда компоненты сплава не растворяются и химически не взаимодействуют между собой в твердом состоянии;

твердый раствор - вид сплава, в котором атомы соединяемых элементов, смешиваясь в различных соотношениях, образуют общую кристаллическую решетку;

химическое соединение - сплав, образующийся при строго определенном соотношении компонентов, с образованием новой кристаллической решетки.

Изучая тему, разберитесь, при каких условиях образуется каждый тип сплава, какую кристаллическую решетку имеют компоненты и получаемый

из них сплав.

Сплавы железа с углеродом (стали и чугуны) относятся к черным сплавам. Их свойства во многом определяются содержанием углерода, примесей и легирующих элементов. Для изучения черных сплавов и их маркировки следует использовать стандарты:

ГОСТ 21427. Сталь электротехническая тонколистовая.

ГОСТ 1050. Стали конструкционные качественные.

ГОСТ 380. Стали конструкционные обыкновенного качества.

От строения сплавов зависят их свойства. Характер и состояние сплавов при изменении их состава и температуры могут, проанализированы с помощью диаграмм состояния, которые дают возможность правильно выбрать сплав, технические режимы, определить физические и механические свойства.

Сплавы цветных металлов широко используют в современном приборостроении и радиоэлектронике.

Наиболее широко применяются сплавы на основе меди — латуни, бронзы, и алюминия — дюралюминий, силумины [2], с.36; [9], с.24.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите типы химических связей в материалах.
2. Опишите основные химические свойства материалов.
3. Опишите влияние дефектов структуры металлов на их свойства.
4. Охарактеризуйте индексы Миллера .
5. Сравните свойства изотропных, анизотропных, квазиизотропных веществ.
6. Опишите различия сплавов: твердый раствор, механическая смесь, химическое соединение.
7. Приведите классификацию материалов в зависимости от ширины запрещенной зоны.
8. Перечислите способы увеличения коррозионной стойкости сплавов.

Раздел 2.Проводниковые материалы

2.1Классификация проводниковых материалов.Физические процессы в проводниках

Классификация проводниковых материалов по агрегатному состоянию вещества, по величине удельного электрического сопротивления, по составу, по назначению.

Электропроводность в проводниках и её зависимость от внешних факторов (примесей, деформаций, повышенной и пониженной температуры, частоты приложенного напряжения и др.). Удельное электрическое

сопротивление. Температурный коэффициент удельного сопротивления. Особенности электропроводности тонкопленочных проводников.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

По агрегатному состоянию проводниковые материалы разделяют на газообразные, жидкие и твердые.

К *газообразным* проводниковым материалам относят все газы и пары, в том числе и пары металлов. При достаточно малых значениях напряженности электрического поля они являются диэлектриками и обладают очень высоким удельным электрическим сопротивлением ρ . Однако при напряженности электрического поля, которое обеспечивает начало ионизации, газ может стать проводником, в котором перенос электрических зарядов осуществляется электронами и ионами. Если в единице объема сильно ионизированного газа наступает равенство между числом электронов и положительных ионов, то такой газ представляет собой особую проводящую среду, называемую *плазмой*.

Проводимость газов и паров используют в различных газоразрядных приборах.

К *жидким* проводникам относят расплавы металлов и растворы (в частности, водные) и расплавы солей, кислот и других веществ с ионным строением молекул.

Механизм прохождения электрического тока через твердые и жидкие металлы обусловлен направленным движением свободных электронов под воздействием электрического тока, который создается приложенным извне напряжением. Поэтому твердые и жидкие металлы называют проводниками с *электронной (металлической) электропроводностью* или проводниками *первого рода*.

Растворы и расплавы солей, кислот и щелочей, проводящие электрический ток, называют *электролитами* или проводниками *второго рода*. При прохождении электрического тока через электролит, в который погружены электроды, электрические заряды переносятся вместе с частицами молекул (ионами) электролита. На электродах происходит выделение веществ из раствора. Большинство металлов имеют высокую температуру плавления. Только ртуть и некоторые специальные сплавы (например, сплавы системы индий – галлий) могут быть использованы в качестве жидких проводников при нормальной температуре.

Электролиты используют в технологии изготовления различных элементов радиоэлектронных устройств.

К *твердым* проводникам относят металлы и сплавы. В Периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева 75% элементов – металлы. В твердом состоянии металлы имеют кристаллическую структуру, для которой характерен особый вид металлической связи между атомами. При прохождении электрического тока через контакт различных металлов не происходит переноса вещества одного металла в другой, как это имеет место

при прохождении тока в электролитах, поскольку перенос электрических зарядов осуществляется только электронами.

По характеру применения в радиоэлектронных приборах металлические материалы разделяют на материалы высокой проводимости (удельное электрическое сопротивление $\rho < 0,1$ мкОм·м) и материалы с высоким сопротивлением (удельное электрическое сопротивление $\rho > 0,3$ мкОм·м).

Понимание электрических свойств различных материалов дает зонная теория электропроводности твердых тел. Прежде чем разбираться в построении энергетических диаграмм для различных металлов, надо вспомнить из курса физики и химии сведения о строении атома, силами взаимодействия между его электрическими зарядами. Энергетические свойства материалов описаны в [2], с. 21-23; [1], с. 29-31.

Важнейшими показателями свойств проводников являются:

- удельное электрическое сопротивление $\rho =$ (Ом·м) или удельная проводимость γ (См/м);
- температурный коэффициент удельного сопротивления TK_ρ или $\alpha_\rho(\text{Г}^1)$;
- коэффициент теплопроводности γ_1 (Вт/м·К⁴);
- коэффициент термо-ЭДС K (мкВ/к).

2.2 Материалы высокой проводимости

Основные требования, предъявляемые к материалам высокой проводимости. Характерные свойства Ag, Си, Аи, Al, Pt, Pb, сплавов меди (латуней и бронз), сплавов алюминия (альдрей), области их применения в электронной технике. Общие сведения о криопроводниках.

Механизм сверхпроводимости. Сверхпроводники 1-го и 2-го рода. Температура перехода в сверхпроводящее состояние. Области применения сверхпроводников.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

К материалам этого типа предъявляются следующие требования: минимальное значение удельного электрического сопротивления; достаточно высокие механические свойства (главным образом предел прочности при растяжении и относительное удлинение при разрыве); способность легко обрабатываться, что необходимо для изготовления проводов малых и средних сечений; способность образовывать контакты с малым переходным сопротивлением при пайке, сварке и других методах соединения проводов; коррозионная стойкость.

Основным является требование максимальной удельной проводимости материала. Однако электропроводность металла может снижаться из-за загрязняющих примесей, деформации металла, возникающей при штамповке или волочении, что приводит к разрушению отдельных зерен металла. Влияние деформаций металла на его электропроводность устраняется при

отжиге, во время которого уменьшается число дефектов в металле и увеличиваются средние размеры кристаллов металла. В связи с этим проводниковые материалы используют в основном в отожженном (мягком) состоянии.

В группу материалов с малым удельным сопротивлением входит большое количество металлов и сплавов с различными физико-химическими свойствами и эксплуатационными характеристиками. Классификация по применению:

- материалы для обмоточных и монтажных проводов и кабелей;
- материалы для электровакуумных приборов;
- материалы для контактов.

Основными требованиями к материалам этой группы являются: минимальное значение удельного сопротивления ρ , достаточно высокие механические свойства, технологичность, способность давать контакты с малым переходным сопротивлением при пайке, коррозионная стойкость.

Медь, алюминий и серебро - наиболее широко используемые проводниковые материалы высокой проводимости. Чем меньше примесей содержит металл, тем выше его проводимость. Содержание примесей в проводниковом материале в маркировке. Так, М0 - содержание меди 99,95%, М1 - 99,9% меди, М00 - 99,99% меди. Маркировка сплавов определяет процентное содержание компонентов.

К этой же группе материалов относятся криопроводники и особую группу составляют сверхпроводники.

Криопроводимость - явление увеличения удельной проводимости металлов в сотни и тысячи раз (изменяется на 2-4 порядка) при достижении криогенных (пониженных) температур (4,2 К - 77,4 К) по сравнению с проводимостью металлов при нормальной температуре. Например, у алюминия марки АТ удельное сопротивление при $T = 300\text{К}$ уменьшается в 41 раз по сравнению с $T = 20^\circ\text{С}$.

Возможности практического применения явления сверхпроводимости определяется значениями температуры перехода в сверхпроводящее состояние $T_{\text{кр}}$ и критической напряженности магнитного поля $H_{\text{кр}}$ (или критического тока, протекающего через проводник $I_{\text{кр}}$), т.к при достижении этих значений явление сверхпроводимости нарушается и удельное сопротивление материала приобретает определенное значение. При изучении этого вопроса следует обратить внимание, в каких случаях выгоднее использовать явление сверхпроводимости, а в каких — криопроводимости.

Сверхпроводники в зависимости от поведения в магнитном поле делятся на два типа:

- сверхпроводники I рода (мягкие);
- сверхпроводники II рода (твердые).

2.3 Материалы высокого сопротивления

Общие требования, предъявляемые к резистивным материалам. Состав и марки резистивных материалов для проволочных и тонкопленочных резисторов (константан, манганин, нихром, сплавы РС3710, МЛТ-3М, керметы и др.). Жаростойкие материалы (материалы для нагревательных элементов); тугоплавкие металлы, сплавы (нихром, хромали, фехрали и др.).

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Материалы с высоким удельным сопротивлением по применению делятся на резистивные, материалы для нагревательных приборов, термопар.

При изучении темы следует разобраться, какие требования предъявляются к каждой группе материалов.

К резистивным материалам относятся: манганин, константан, нихром; сплавы МЛТ, содержащие *Si, Fe, Cr, Ni, Al, W*; сплавы марки РС, содержащие *Si* и легированные *Cr, Fe, Ni*, где обозначение РС - резистивный сплав; тонкие металлические пленки тугоплавких металлов (*Ta, Re*); керметы, содержащие проводящую фазу (*Cr, Ni, Fe*) и диэлектрическую (*SiO, TiO₂, Nd₂O₃*); композиционные материалы — механические смеси мелкодисперсионных порошков металлов (*Ag, Pd, SiC, WC*) диэлектрическими смолами; металлооксидные пленки, углеродистые материалы. К сплавам для нагревательных приборов относятся нихром (X20H80), фехрали, хромали, ферронихромы (XI3104, 0X27105A); к сплавам для термопар - копель (МНМ_цАК2-2-1), хромель (КНХ9), платинородий.

2.4 Проводниковые материалы различного применения

Основные группы проводниковых материалов различного применения, их особенности и области применения в электронной технике. Материалы для термопар. Типы термопар. Материалы для подвижных контактов (скользящих и разрывных). Припой и флюсы. Контактные металлы. Благородные металлы. Конструкционные металлы и сплавы.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Для изготовления электрических контактов выбираются сплавы или металлы по величине протекающего тока, а также в зависимости от применения. Для разрывных слаботочных контактов используют благородные и тугоплавкие металлы, а также сплавы на их основе, для сильноточных - металлокерамические материалы, получаемые методом порошковой металлургии [2], с. 47-76, [3], с.226-229.

Специальные сплавы, применяемые при пайке называются *припоями*. Припой подразделяется на мягкие с температурой плавления до 400°C и твердые с температурой плавления выше 400°C. Название марок примесь

определяется металлами, входящими в них в наибольшем количестве (О — олово, С - свинец, С_р - серебро, А/ - алюминий и др.). Марка припоя выбирается в зависимости от ряда соединяемых металлов и сплавов, требуемой механической прочности, удельной электрической проводимости защищают от окисления вспомогательными составами, называемыми *флюсами*. Флюсы делятся на активные (кислотные), бескислотные, активированные и антикоррозионные.

Группу благородных металлов (серебро, платина, палладий, золото) составляют металлы, обладающие наибольшей химической стойкостью. Благородные металлы применяются в качестве контактных материалов, покрытия внутренних поверхностей волноводов и других целей.

Контактолы представляют собой синтетические смолы с мелкодисперсным токопроводящим наполнителем. Контактолы широко применяются в серийном производстве. О применении контактолов, их преимуществах по сравнению с мягкими припоями, о свойствах и маркировки контактолов-паст и контактолов-клеев приведено в [2], с.83.

Вопросы для самоконтроля

1. Объясните связь между температурным коэффициентом удельного сопротивления, линейного расширения и температурой плавления металлов.
2. Перечислите факторы влияющие на электропроводность проводников.
3. Обоснуйте широкое применение меди в качестве проводникового материала.
4. Перечислите преимущества и недостатки алюминия по сравнению с медью.
5. Приведите классификацию сверхпроводниковых материалов и опишите области их применения.
6. Перечислите требования предъявляемые к флюсам.
7. Опишите контактолы обеспечивающие наиболее высокую стабильность контактных соединений.
8. Перечислите сплавы металлов обладающих большим удельным сопротивлением по сравнению с чистыми металлами.
9. Обоснуйте нерациональность изготовления реостата из медной или алюминиевой проволоки.
10. Сравните температуру плавления: реостатных сплавов и сплавов для электронагревательных приборов.
11. Объясните почему при замыкании и размыкании контакта образуется электрическая дуга и какие явления возникают при этом.

Раздел 3 Диэлектрические материалы

3.1 Физические процессы в диэлектриках

Поляризация. Виды поляризации. Диэлектрическая проницаемость. Электропроводность. Удельное электрическое объемное сопротивление. Удельное электрическое поверхностное сопротивление. Сопротивление изоляции. Диэлектрические потери энергии. Угол диэлектрических потерь, тангенс угла диэлектрических потерь, коэффициент диэлектрических потерь. Потери в постоянных и переменных электрических полях. Пробой диэлектриков. Виды пробоев. Электрическая прочность в однородных и в неоднородных электрических полях.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Согласно зонной теории твердого тела (см. [2] § 1.6) диэлектрики - это вещества, у которых запрещенная зона настолько велика, что нормальных условиях электропроводность в них отсутствует ($\rho > 10^{17} - 10^{20}$ Ом-м).

Основным электрическим свойством диэлектрика является способность поляризоваться под действием внешнего электрического поля, т.е. в диэлектрике возникает собственное электрическое поле, направленное в противоположенную сторону по отношению к внешнему полю, обусловленное смещением заряженных частиц, входящих в состав молекулы диэлектрика.

Изучение темы требует начинать с анализа явлений, происходящих в диэлектриках под действием электрического поля, физико-химических и механических свойств, а также определение их параметров. Знание их необходимо для оценки эксплуатационных свойств диэлектрика, возможных областей их применения.

Основными электрическими параметрами диэлектрика являются:

ρ_v - удельное объемное сопротивление, Ом-м;

ρ_s - поверхностное сопротивление, Ом;

ϵ - относительная диэлектрическая проницаемость, характеризующая емкостные свойства диэлектрика и его способность к поляризации ($\epsilon > 1$);

$\text{tg}\delta$ - тангенс угла диэлектрических потерь, оценивающий потери электрической мощности, а следовательно качество диэлектрика;

$E_{пр}$ - электрическая прочность, В/м.

По величине $\text{tg}\delta$ диэлектрики делятся на низкочастотные ($\text{tg}\delta = 10^{-1} - 10^{-2}$) и высокочастотные ($\text{tg}\delta = 10^{-3} - 10^{-4}$); по величине ϵ - на нейтральные (неполярные $1 < \epsilon < 3$) и полярные ($\epsilon > 3$), по величине $E_{пр}$ — на удовлетворенные ($E_{пр} = 10$ кВ/м), качественные ($E_{пр} = 10-25$ кВ/м), высококачественные ($E_{пр} > 25$ кВ/м).

3.2 Классификация диэлектрических материалов. Жидкие и газообразные диэлектрики

Твёрдые, жидкие, газообразные диэлектрики. Активные и пассивные диэлектрики. Диэлектрики органического и природного происхождения. Низкочастотные и высокочастотные диэлектрики. Основные признаки классификационных групп диэлектриков.

Электрические свойства жидких и газообразных диэлектриков. Основные виды жидких диэлектриков (нефтяные масла и синтетические жидкости). Назначение жидких и газообразных диэлектриков.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

По назначению диэлектрики классифицируются на электроизоляционные и активные; по химическому составу органические, неорганические, элементоорганические; по агрегатному состоянию - на твердые, жидкие, газообразные.

Роль газообразных диэлектриков в РЭА велика. Их свойства удобнее всего изучать на примере воздуха, которым окружены все токоведущие части аппаратуры. Газообразные диэлектрики имеют высокое удельное сопротивление, маленький $\text{tg}\delta$ ($\text{tg}\delta = 4 \cdot 10^{-6}$, у наилучших твердых диэлектриков $\text{tg}\delta \sim 10^{-4}$), но низкую пробивную прочность. При изучении газообразных диэлектриков следует обратить внимание на изменение их свойства при изменении величины электрического поля, давления, влажности, состава и т. д. Следует разобраться в основных требованиях, предъявляемых к газообразным диэлектрикам и рассмотреть область их применения.

Применение газов обусловлено их электрическими характеристиками и химической активностью.

По происхождению жидкие диэлектрики делятся на растительные, минеральные (нефтяные), синтетические. Растительные используются сравнительно мало, нефтяные используются для заливки и пропитки. Достоинством нефтяных масел являются доступность сырья, высокие электрические свойства, сравнительно простая технология их производства и невысокая стоимость. Недостатки, пожаро- и взрывоопасность, склонность к старению, узкий диапазон рабочих температур. К нефтяным относятся трансформаторное, кабельное, конденсаторное, вазелиновое масла.

Синтетические жидкие диэлектрики имеют более широкий интервал допустимых температур, слабогорючи или негорючи, но имеют более высокую стоимость.

К синтетическим относятся хлордифенилы (совол, совтол и т.д.), фторорганические и кремнийорганические (полисилоксановые) жидкости.

При изучении темы следует обратить внимание на электрические процессы в жидких диэлектриках, сравнить состав и свойства различных диэлектриков, эффект их применения [1], [2].

3.3 Твердые органические диэлектрики

Состав, свойства, виды и области применения органических диэлектриков. Полимеры полярizacionные и поликонденсационные, термопластичные и терморреактивные. Пластмассы. Лаки, эмали и компаунды. Клеи. Слоистые пластики и фольгированные материалы. Волокнистые электроизоляционные материалы. Резина.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Твердые диэлектрики составляют наиболее многочисленную группу электроизоляционных материалов, весьма разнообразных по своему происхождению, структуре, электрическим и физико-химическим свойствам.

Из курса химии учащимся уже известны понятия «мономер» и «полимер». Мономеры - простые химические вещества, легко вступающие в химические реакции, в результате которых образуются новые высокополимерные материалы (полимеры) с большой молекулярной массой. Полимеры наряду с высокими электрическими характеристиками обладают большой механической прочностью, стойкостью ко многим химическим реагентам, малым удельным весом. Многие полимеры способны образовывать тончайшие пленки и волокна, превышающие по качеству натуральные.

Синтетические полимеры получают двумя способами: полимеризацией и поликонденсацией. По структуре они могут быть линейными, имеющими вид цепочек и пространственными - трехмерными. По поведению при нагреве твердые дитерморреактивные (реактопласты). При изучении темы следует разобраться в различии самих реакций и получаемых полимеров (термопласты- реактопласты, линейные-пространственные, полярные-неполярные) Примеры полимеров, указанных в теме, следует сравнить по составу и свойствам и в зависимости от этого определить их применение, учитывая их стоимость.

Пластмассы - материалы, изготовленные из полимеров путем переработки в изделия в результате деформации под влиянием нагрева и давления, сохраняющие форму после отверждения. Пластмассы состоят из связующего вещества, для достижения определенных свойств в них вводят наполнитель, пластификатор, стабилизаторы, отвердители, красители, парообразователи. В качестве связующего в пластмассах используют искусственные и природные смолы, полимеры. Вид связующего определяет принадлежность пластмасс к термопластичным или терморреактивным. При изучении свойств этих материалов следует разобраться в причинах широкого использования пластмасс, в технологии получения, роли составных частей пластмасс, применении. Все перечисленные теме материалы разобраны [2]. При изучении их свойств следует использовать справочную литературу и ГОСТы.

ГОСТ 24888 Пластмассы, полимеры и синтетические смолы. Химические наименования, термины и определения.

ГОСТ 2718 Гетинакс электротехнический.

ГОСТ 2910 Текстолит электротехнический.

ГОСТ 10316 Гетинакс и стеклотекстолит фольгированный.

ГОСТ 12652 Стеклотекстолит электротехнический.

Здесь приведены ГОСТы наиболее часто применяемых пластмасс и слоистых пластиков при производстве РЭА.

Компаунды - электроизоляционные составы, не содержащие растворителей, и твердеющие при эксплуатации.

По назначению компаунды делятся на пропиточные, заливочные и обмазочные; по их поведению при нагреве - на термопластичные и терморезистивные. В их состав входят смолы, битумы (сложная смесь углеводородов и продуктов их окисления и полимеризации). При изучении их свойств (см. [2]) следует привести сравнение основных характеристик (свойств) каждой из перечисленных групп компаундов, используя справочную литературу.

3.4 Твердые неорганические диэлектрики

Неорганические стекла, ситаллы, керамика, слюда, их состав, виды, основные особенности и области применения.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Стекла являются неорганическими термопластичными материалами и представляют собой сложные системы различных оксидов (SiO_2 , BaO , Al_2O_3 и т.д.). Сырьем для изготовления стекла служат кварцевый песок, сода, известняк, полевой шпат и т.д.

Стекла - аморфные тела, свойства которых зависят от их химического состава и режима термообработки. По химическому составу стекла делятся на бесщелочные, слабощелочные, многощелочные. В зависимости от назначения стекла делятся на конденсаторные, установочные, электровакуумные (ламповые), порошковые, ситаллы, стекловолокно. Следует разобраться, какие требования предъявляются к каждой из этих групп стекол.

В радиоэлектронике, микросхемах, в создании оптических систем используют полупроводниковые (халькогенидные) стекла. Для защиты металлических изделий от коррозии, создания отражающей поверхности используют стеклоэмали (порошковые стекла).

Для изоляции обмоточных и монтажных проводов, световодов используют стекловолокно, получаемое из расплава стекла.

Для изготовления подложек ИМС, аттенюаторов, опор для крепления разрядников используют ситаллы - поликристаллические материалы, получаемые путем направленной кристаллизации стекла. Свойства ситаллов зависят от их структуры и фазового состава и намного превосходят свойства стекол того же химического состава. Различают фотоситаллы — ситаллы,

в которых стимуляторами кристаллизации являются мельчайшие частицы металлов и термоситаллы - ситаллы, получаемые термообработкой стекла.

При изучении темы следует обратить внимание на свойства и технологию получения отдельных видов стекол и стекломатериалов.

Керамическими являются неорганические материалы, изделия из которых получают путем обжига при высокой температуре. Керамика состоит из аморфной кристаллической и газовой фаз. При изучении этой группы материалов следует разобраться, какое влияние избыток той или иной фазы оказывает на свойства керамики.

По назначению керамика делится на конденсаторную, установочную и сегнетокерамику; по электрическим свойствам - на высокочастотную и низкочастотную, представленную следующими типами:

тип А - конденсаторная высокочастотная, содержащая три класса: I, II, III, отличающаяся величиной ТКс;

тип Б - конденсаторная низкочастотная, содержащая два класса, IУ, У отличающиеся величиной ε;

тип В - установочная высокочастотная, содержащая три класса: У1, УП, УШ, отличающиеся тем, что каждый следующий класс имеет более высокий $\sigma_{\text{изг}}$; низкочастотная установочная, содержащая два класса: IX, X.

При изучении темы следует разобраться, какие требования предъявляются к этим материалам, как химический состав влияет на свойства керамики, в каких областях применяется.

Слюда - природный материал с кристаллической структурой и слоистым строением, представляет собой водные алюмосиликаты щелочноземельных металлов.

Из 30 разновидностей слюды для электрической изоляции применяют только две: мусковит ($R_3O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$) и флогопит ($K_2O \cdot 6MgO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$). По электрическим свойствам мусковит лучше флогопита, а также более стоек к истиранию, но менее нагревостоек.

Кроме природных слюд, в настоящее время в технике широко применяют слюдяные электроизоляционные материалы (миканиты, слюдопласты, микалекс и т.д.) и синтетическая слюда (фторфлогопит), которая отличается более высокими электрическими свойствами и нагревостойкостью, меньшим водопоглощением, чем природная слюда. Все эти материалы описаны в рекомендованной литературе. Необходимо знать их основные свойства, характеристики и область применения.

3.5 Активные диэлектрики

Пьезоэлектрики. Сегнетоэлектрики. Электреты. Диэлектрики для оптической генерации (для активного элемента лазера). Жидкие кристаллы: нематические, смектические, холестерические. Жидкокристаллическая ячейка.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Активные диэлектрики отличаются от пассивных тем, что их электрическими свойствами можно управлять в широком диапазоне, воздействуя на них электрическими, магнитными, тепловыми полями и т.д. К активным диэлектрикам относятся сегнетоэлектрики, пьезоэлектрики, электреты, материалы для лазеров, оптических квантовых генераторов (ОКГ) и т.д.

Сегнетоэлектриком называют диэлектрик, обладающий спонтанной (самопроизвольной) поляризацией, направление которой может быть изменено внешними воздействиями, например, электрическим полем. Далее по учебнику

[1] следует разобраться в особенностях сегнетоэлектриков и их применении.

Пьезоэлектрики — анизотропные кристаллические вещества, способные поляризоваться под действием механических напряжений. Основным свойством пьезоэлектриков является наличие прямого и обратного пьезоэффекта.

Прямой пьезоэффект - способность к образованию электрических зарядов на поверхности и к внутренней поляризации под действием механического напряжения.

Для характеристики поляризации при заданном напряжении вводится пьезоэлектрический модуль (пьезомодуль) d (Кл/Н).

Обратный пьезоэффект - способность диэлектрика изменять по линейному закону размеры в зависимости от величины напряженности электрического поля. Такой диэлектрик в переменном поле ведет себя как пьезоэлектрический резонатор, характеризуемый механической добротностью Q_m .

Пьезоэлектрики используются в технике для преобразования механических смещений или напряжений в электрические сигналы (звукосниматели, датчики деформации и т.д.) и для преобразования электрических сигналов в механические (акустические излучатели, генераторы ультразвука и т.д.). Материалы этой группы делятся на пьезокерамику, пьезоэлектрические монокристаллы и поликристаллы, которые могут быть природного происхождения (кварц, турмалин) и синтетические (титанат бария, ниобат лития и т. д.).

Электреты представляют собой твердые диэлектрики, которые после их электризации или поляризации длительное время сохраняют электрический заряд и могут служить источниками электричества.

В зависимости от способа формирования заряда различают термоэлектреты, фотоэлектреты, радиоэлектреты, трибоэлектреты.

Изучая тему, нужно выяснить, какие материалы обладают свойствами электретов и где они применяются.

Особую группу составляют активные диэлектрики для оптической генерации. Принцип действия квантовых приборов основан на возбуждении атомов (молекул) от внешнего источника энергии с последующим

одновременным вынужденным излучением. Для элементов квантовых приборов используют твердые (кристаллические и аморфные), жидкие и газообразные диэлектрики, содержащие активирующие примеси (ионы Cr^{3+} , Nd^{3+} , Cd^{3+} и т.д.). См. [3], С. 155-157.

Для эффективного использования оптического излучения лазеров и других генераторов света необходимо управлять этим излучением (для этого используют модуляторы). Принцип действия модуляторов оптического излучения основан на электрооптическом эффекте, который заключается в изменении показателей преломления диэлектриков под действием электрического поля. Электрооптические материалы делятся на материалы с линейным электрооптическим эффектом (кристаллы, не имеющие центра симметрии); материалы с квадратичным электрооптическим эффектом (кристаллы, имеющие центр симметрии). См. [3], с. 157-159.

Для буквенно-цифровых индикаторов широко используют жидкие кристаллы, т.е. материалы, для которых характерно термодинамически устойчивое агрегатное состояние, при котором вещество сохраняет анизотропию физических свойств, присущую твердым кристаллам, и текучесть, характерную для жидкостей. Эти материалы относятся к материалам с динамическим электрооптическим эффектом рассеяния светом. Физическая сущность эффекта динамического рассеяния свет обусловлена беспрерывным хаотическим изменением показателя преломления диэлектрика при воздействии на него внешнего электрического поля, Существует несколько структурных разновидностей жидких кристаллов: нематические, смектические, холестерические. См. [2], с. 159-161.

Нематические жидкие кристаллы (НЖК) — это жидкие кристаллы, нитевидные молекулы которых расположены параллельно друг другу, но их продольные сдвиги беспорядочны.

Смектические жидкие кристаллы (СЖК) - это жидкие кристаллы, у которых молекулы располагаются слоями, но при этом возможны различные виды упаковок молекул в слои.

Холестерические жидкие кристаллы (ХЖК) - это жидкие кристаллы, у которых молекулы расположены слоями винтообразно повернутыми относительно друг друга по вертикальной оси.

Вопросы для самоконтроля

1. Определите ширину запрещенной зоны диэлектриков.
2. Перечислите требования предъявляемые к высокочастотным диэлектрикам.
3. Опишите механизм, пробоя диэлектриков с различными агрегатными состояниями.
4. Перечислите достоинства полимеров обуславливающие их многостороннее использование в РЭА.
5. Перечислите требования которым должны удовлетворять

- высокочастотные полимеры.
6. Приведите классификацию полимеров.
 7. Поясните как изменяются свойства пластмасс при введении в них наполнителя.
 8. Поясните как изменяются свойства волокнистых материалов при их пропитке.
 9. Охарактеризуйте практическое значение вязкости жидких диэлектриков.
 10. Перечислите факторы влияющие на электрическую прочность жидких диэлектриков.
 11. Обоснуйте преимущество применения инертных газов в качестве диэлектриков по сравнению воздухом.
 12. Приведите маркировку стекол.
 13. Поясните применение ситаллов.
 14. Сравните природную и синтетическую слюду.
 15. Сравните какими преимуществами отличаются керамические материалы по сравнению с органическими диэлектриками?
 16. Сравните какими преимуществами обладают радиофарфор и ультрафарфор по сравнению с электрическим фарфором?
 17. Охарактеризуйте свойства пьезоэлектриков и перечислите области применения
 18. Охарактеризуйте электреты .
 19. Опишите особенности нематических жидких кристаллов.

Раздел 4. Полупроводниковые материалы

4.1 Собственная и примесная электропроводность полупроводников

Понятие «собственной и примесный полупроводник». Роль примесей в полупроводниках. Доноры, акцепторы, активаторы, люминесценции, рекомбинационные ловушки. Механизмы собственной и примесной p- и n- типа проводимости. Зависимость электропроводности от внешних факторов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Собственная проводимость полупроводников может быть рассмотрена на примере кремния, который является элементом IV группы Периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева. Эти элементы образуют алмазоподобную модификацию гранцентрированной кубической решетки, в которой каждый атом, расположенный в узле кристаллической решетки, окружен четырьмя другими атомами и связан с ними ковалентной связью. Так как при ковалентной связи каждый внешний электрон принадлежит одновременно двум атомам, то внешние оболочки атомов содержат по восемь электронов. При этом все электроны внешних оболочек участвуют в

образовании ковалентных связей и свободные носители создающие электропроводность, отсутствуют (рис. 4.2, а). Для того чтобы электрон превратился в свободный носитель заряда, необходимо сообщить ему дополнительную энергию, достаточную для разрыва ковалентной связи. Такая энергия определяется шириной запретной зоны и называется *энергией активации ΔW*

Примесная проводимость полупроводников обусловлена несовершенством кристаллической структуры полупроводника. Дефекты в кристаллической решетке вызывают образование дополнительных энергетических уровней внутри запретной зоны (рис. 4.4). Благодаря этому для перехода электрона с дополнительного уровня в зону проводимости или из валентной зоны на дополнительный уровень требуется энергия, меньше ширины запретной зоны ΔW . В случае перехода электрона с дополнительного энергетического уровня в зону проводимости появляется дополнительный электрон проводимости. При переходе электрона с валентной зоны на дополнительный энергетический уровень образуется дополнительная дырка проводимости.

4.2 Классификация полупроводниковых материалов

Классификация по составу, структуре, происхождению, по чистоте (наличию примесей), виды сложных полупроводниковых соединений.

Ширина запрещенной зоны. Энергия активации донорной и акцепторной примеси. Подвижность носителей заряда. Время жизни и диффузионная длина неравновесных носителей заряда. Удельное электрическое сопротивление собственного и примесного полупроводника. Влияние параметров полупроводниковых материалов на эксплуатационные характеристики полупроводниковых приборов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении свойств полупроводников следует обратить внимание на то, что для них характерно 3 вида проводимости:

- собственная, образованная за счет генерации электронно-дырочных пар;
- электронная — за счет свободных электронов примесных атомов (при введении примеси большей валентности - донорной);
- дырочная - за счет избытка дырок проводимости (при введении примеси меньшей валентности - акцепторной).

В реальных полупроводниковых материалах, используемых для создания различных полупроводниковых приборов, одновременно могут наблюдаться различные типы проводимости. Например, собственная и дырочная проводимость.

О влиянии внешних факторов на электропроводность полупроводников, фотопроводимость и другие свойства полупроводников следует разобраться в [2], с. 180-186.

Действие большинства полупроводниковых приборов основано на явлениях, происходящих либо в области контакта полупроводника с металлом, либо на очень узкой границе областей полупроводника с различным типом проводимости (р-п перехода), поэтому следует разобраться в физических процессах, протекающих в полупроводниках в этих случаях.

При изучении этой темы следует обратить внимание на основные характеристики полупроводников:

- постоянная решетки (Нм);
- концентрация (число) атомов в единице объема ($1/\text{см}^3$);
- ширина запрещенной зоны (ЭВ);
- подвижность носителей заряда ($\text{м}^2/\text{В с}$);
- удельное сопротивление (Ом-м);
- теплопроводность (Вт/м-К);
- диэлектрическая проницаемость, ϵ ;
- работа выходов электронов, ЭВ.

4.3 Простые полупроводники

Германий, кремний, их достоинства и недостатки. Выращивание монокристаллов по методу Чохральского. Зонная очистка. Марки кремния. Эпитаксиальные структуры, их марки.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Полупроводниковыми свойствами обладает большое число разнообразных веществ. Все полупроводники можно разделить на простые, сложные, органические.

Простыми называются полупроводники, основной состав которых образован атомами одного химического элемента. К простым полупроводникам относятся Se, Te, Si, Ge, В, As, Си т.д. Основным материалом для создания полупроводниковых приборов и полупроводниковых ИМС является кремний. Вызвано это тем, что кремний широко распространен в природе в виде кремнезема SiO_2 , достаточно дешевый материал, технология производства приборов из него и ИМС значительно проще и имеет более высокие рабочие температуры. Свойства Si, получения кремния и основные соединения на его основе описаны в [3], с. 199-207. Промышленность выпускает большое количество разнообразных марок Si, отличающихся по типу электропроводности, величине удельного сопротивления, виду легирующих примесей и т.д. Например, 1А5бКДБ7,5/0, 1—45, где 1А - группа марок, 5 - подгруппа; б - дополнительный параметр качества; К - кремний; Д - тип проводимости (дырочный); Б - вид легирующей примеси (бор); 7,5 - номинал удельного сопротивления, Ом-см; 0,1 - диффузионная длина неосновных

носителей заряда, мм; 45-диаметр слитка, мм.

Вторым по применению (после кремния) следует германий. Его основные свойства, методы получения, маркировка и применение описаны в [2], с. 215-219.

При изготовлении полупроводниковых приборов нужно не только получать участки полупроводника с различным типом и величиной проводимости, но необходимо придать этим участкам и p-n-переходам строго определенную геометрическую форму и размеры. Для решения этой задачи используются методы фотолитографии ([2], с. 208-210). Для легирования полупроводниковых материалов примесями используют процесс диффузии; для создания p-n-переходов и омических контактов используют методы сплавления и напыления. Все эти методы достаточно подробно изложены в [2], с. 210-213.

4.4 Сложные полупроводниковые соединения

Характерные особенности и области применения сложных полупроводниковых соединений. Соединения $A^{IV}B^{IV}$ (карбид кремния). Соединения A^mB^v (арсениды, фосфида, антимониды галлия, индия, алюминия). Твердые растворы на основе соединений $A^{IV}B^v$. Соединения A^uB^{VI} (сульфиды, селениды, теллуриды цинка, кадмия, ртути).

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Свойства простых полупроводников не всегда отвечают требованиям современной полупроводниковой техники, поэтому все чаще обращаются к сложным полупроводникам. Их сложными полупроводниковых материалов наиболее широкое применение нашли двойные кристаллические соединения типа $A^{III}B^{II}$, где $m + n = 8$ (показывает группу элементов таблицы Д.И. Менделеева или количество электронов на внешней оболочке). Единственным двойным соединением элементов ГУ группы периодической системы ($A^{IV}B^{IV}$) является карбид кремния (SiC), который содержит 70% Si и 30% C. Основными его достоинствами являются: высокая прочность соединения (высокая химическая стойкость); по твердости уступает алмазу; высокая жаростойкость (~ до 2000°C); благодаря большой ширине запрещенной зоны ($E_g = 2,39$ эВ) приборы на основе SiC могут работать при температурах до 400-500°C; способность к люминесценции в видимой части спектра, фотолюминесценция позволяет создавать на его основе светодиоды.

Из соединений типа A^mB^v наиболее широко применяют арсениды галлия и индия (AsGa, AsIn); антимониды индия и галлия (SbIn, SbGa); фосфида галлия (PGa). Соединения этого типа имеют ширину запрещенной зоны, изменяющуюся в широких пределах от 0,18 эВ до 2,45 эВ; высокую подвижность носителей заряда; обладают большой химической стойкостью и

механической прочностью, что позволяет выбрать из них материалы с необходимыми свойствами.

На основе соединений типа $A^III B^V$ созданы самые различные электронно-оптические приборы: фоторезисторы, светодиоды, лазеры, фотоумножители и т.д.

Большую группу полупроводниковых материалов составляют соединения халькогенов(S,Te,Se) с металлами (соединения типа $A^{II} B^{VI}$). Основной особенностью этих материалов являются высокая чувствительность к излучению в различных частях спектра, ярко выраженные фоторезистивные и люминесцентные свойства. Свойства халькогенидов, их применение подробно описаны в [2], с. 235-238.

Вопросы для самоконтроля

1. Сравните полупроводники и другие электрорадиоматериалы.
2. Объясните как зависит электрическое сопротивление полупроводников от температуры и освещенности.
3. Объясните с какой целью производится очистка кремния и германия от примесей.
4. Объясните для чего вводятся легирующие примеси, какие именно и каким образом.
5. Опишите как можно получить монокристаллический кремний.
6. Приведите классификацию полупроводниковых соединений.
7. Опишите как изменяются свойства соединений внутри каждой группы с увеличением суммарного атомного номера.
8. Опишите области применения халькогенидов цинка и кадмия.

Раздел 5. Магнитные материалы

5.1 Физические процессы в магнитных материалах

Природа магнетизма. Процесс намагничивания в постоянных и переменных магнитных полях. Петля гистерезиса. Потери энергии в магнитных материалах. Основные параметры магнитных материалов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Материалы, способные под действием внешнего магнитного поля намагничиваться, называются *магнитными*.

Изучение вопросов, составляющих содержание настоящего раздела базируется на магнитных явлениях, известных из курса физики. Из курса физики известно, что магнитные свойства атома определяются магнитными свойствами электрона. Различный характер электронной структуры атомов определяет различие магнитных свойств веществ и их поведение во внешнем магнитном поле.

Основными условиями ферромагнетизма являются:

- наличие некомпенсированных магнитных моментов электронов;
- наличие магнитных доменов - областей самопроизвольного намагничивания до насыщения.

Процесс намагничивания определяется вращением магнитных моментов доменов и их ростом под действием внешнего намагничивающего поля.

Количественно все процессы намагничивания характеризуются основными характеристиками, которые могут быть определены по петле гистерезиса:

H_c - коэрцитивная сила (А/м);

B_s - индукция насыщения (Тл);

B_r - остаточная индукция (Тл);

μ - относительная магнитная проницаемость (начальная, максимальная, динамическая и т. д.);

P - потери энергии (на гистерезис, вихревые токи, последствие).

5.2 Классификация магнитных материалов

Слабوماгнитные и сильномагнитные материалы. Пара диа -, анти -, ферри - и ферромагнетики. Магнитомягкие и магнитотвердые материалы, магнитные материалы специального назначения.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

По величине коэрцитивной силы магнитные материалы делятся на магнитомягкие ($H_c < 4000$ А/м) и магнитотвердые ($H_c > 4$ кА/м). Для магнитотвердых материалов вводят характеристику удельной магнитной энергии $(BH)_{\text{тах}}/2$, Дж/м³.

В зависимости от величины потерь на вихревые токи магнитные материалы делятся на низкочастотные и высокочастотные (чем больше величина удельного сопротивления материала, тем на более высокой частоте он может применяться).

Ферро - и ферримагнетики являются кристаллическими веществами. Для монокристаллов характерна магнитная анизотропия свойств. В отдельных случаях и в поликристаллических материалах особыми технологическими приемами можно добиться преимущественной ориентации отдельных кристаллов и заданном направлении, т.е. получить материал с магнитной текстурой. Все вопросы, рассматриваемые в этой теме, подробно изложены в [3], с. 240-251.

5.3 Магнитомягкие и магнитотвердые материалы

Основные свойства и области применения различных марок

магнитомягких материалов (железа, электротехнической стали, пермаллоев, альсиферов, ферритов и др.).

Особенности магнитотвердых материалов (кривая размагничивания, коэффициент выпуклости). Виды магнитотвердых материалов (высокоэффективные сплавы, ферриты, магнитокерамические и металлопластические магниты, сплавы на основе редкоземельных элементов, магнитный лак, диоксид железа, диоксид хрома, карбонильное железо и др.), их состав, свойства, назначение.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Материалы этой группы имеют $H_e < 4$ кА/м и работают на частотах до единиц кГц, имеют большую магнитную проницаемость (способны намагничиваться до насыщения в слабых полях). Основные потери энергии в таких материалах в основном возникают за счет вихревых токов, поэтому стараются применять материалы с большим удельным сопротивлением, например, при легировании стали кремнием - кремнистые углеродистые стали, а магнитопровод собирают их топких листов, покрытых лаком. Для магнитных материалов низких частот существенным «шляется требование независимости магнитных свойств рассматриваемых материалов от величины механических напряжений, приложенных к магнитопроводу.

При изучении свойств этой группы материалов следует учесть влияние термообработки на магнитные характеристики, рассмотреть примеры маркировки.

При увеличении частоты до десятков мГц (диапазон радиочастот) сильно возрастают вихревые токи в магнитных материалах, поэтому в этом диапазоне частот используют магнитные материалы с большим значением ρ и малым значением индукции - ферриты и магнитодиэлектрики.

Ферриты - магнитные материалы, получаемые методами керамической технологии из окислов железа и окислов металлов. Магнитомягкие ферриты представляют собой трехкомпонентные системы Fe_2O_3 - NiO- ZnO — никельцинковые и Fe_2O_3 - MnO — ZnO — марганец-цинковые. Маркировка ферритов позволяет определить назначение для низкой или высокой частоты (звуковой, ультразвуковой или низких радиочастот). Буква в маркировке, определяющая частотный диапазон, ставится после цифры, показывающей начальную магнитную проницаемость, вторая буква показывает состав. Например, 4000 НМС: 4000 — ц,, Н- низкочастотный, М - марганец-цинковый, С - для строчных трансформаторов.

Основные характеристики и применение ферритов описаны в [2], с. 262-267.

Магнитодиэлектрики - магнитные материалы, состоящие из связующего вещества (диэлектрика) и порошка магнитного материала с малой величиной H_e . В структуре магнитодиэлектриков, технологии их изготовления, основных характеристиках, маркировке и применении следует

разобраться по [2], с. 267- 269.

К магнитотвердым относятся материалы, имеющие $H_c > 4$ кА/м. Магнитотвердые материалы по составу и способу получения делятся на: литые - на основе сплавов Fe- Ni- Al и Fe- Ni- Al - Co; порошковые, изготавливаемые путем прессования с последующей термообработкой; прочие имеющие ограниченное применение; пластически деформируемые сплавы, эластичные магниты, материалы для ПЗУ: мартенситные стали, содержащие Cr, W, Co, приобретающие большую H_c после закалки на мартенсит.

Изучая тему, следует понять, что магнитная проницаемость у магнитотвердых материалов значительно ниже, чем у магнитомягких. Важнейшей характеристикой магнитотвердых материалов является максимальная удельная энергия $W_{max} = (BH)_{max}/2$ (Дж/м³), а также остаточная индукция B_r . При изучении свойств этих материалов, их применения следует обратить внимание на маркировку. Все эти материалы достаточно хорошо рассмотрены в рекомендуемой литературе.

5.4 Магнитные материалы специального назначения

Основные свойства, характеристики и области применения магнитных материалов специального назначения. Ферриты и сплавы с прямоугольной петлей гистерезиса. Ферриты для устройств СВЧ. Термомагнитные материалы.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

К этой группе относятся ферриты и сплавы с прямоугольной петлей гистерезиса ($K_{пр} > 85$, где $K_{пр} = B_r/B_s$ - коэффициент прямоугольности). По величине H_c ферриты с прямоугольной петлей гистерезиса делятся на три группы:

- ферриты с низким значением H_c (до 100 А/м) марок 0,12Вт-0,9Вт применяют для логических и коммутационных элементов в устройствах переработки информации (цифра в марке соответствует номинальному значению H_c в эрстедах, 13=80 А/м, а буквы ВТ указывают на область применения вычислительная техника);
- ферриты со средним значением H_c (до 300 А/м) предназначены для матричных запоминающих устройств вычислительной техники;
- материалы с промежуточным значением H_c (50-150 А/м) применяют как в логических, так и в запоминающих элементах.

Магнитомягкие сплавы с ППГ являются по составу железоникелевыми и железоникелькобальтовыми сплавами Си, Мо и другими элементами. Толщина лент проката согласно ГОСТ 10160-75 20-500мкм. Преимуществами сердечников на их основе по сравнению сферритовыми являются: лучшая температурная и радиационная стабильность, более высокая рабочая частота, меньшие перемагничивающие поля. Недостатком

является более сложная технология и дорогая.

СВЧ - ферриты имеют большое удельное сопротивление и низкие значения $\tan\delta$ представляют среду, прозрачную для управления потоком электромагнитной энергии. Промышленность выпускает большое количество СВЧ-ферритов, которые делятся на группы:

- никелевые и магниевые;
- двойные;
- иттриевые ферриты-гранаты.

По учебнику следует разобраться в основных свойствах, характерных для этих материалов, в областях их применения, а также в примерах маркировки.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите материалы, относящиеся к ферромагнитным.
2. Изобразите основную кривую намагничивания и объясните ее характер на основе современной теории ферромагнетизма.
3. Объясните как изменяется магнитная проницаемость с увеличением напряженности магнитного поля.
4. Объясните как влияют различные примеси в электротехнической стали на ее свойства.
5. Сравните свойства высоко никелевых пермаллоев и низконикелевых.
6. Приведите маркировку электротехнических, кремнистых сталей и пермаллоев.
7. Перечислите преимущества ферритов по сравнению с металлическими магнитомягкими материалами.
8. Объясните с какой целью в магнитоэлектрики вводится изолирующая связка. Опишите применение магнитоэлектриков.
9. Приведите основные характеристики магнитотвердых материалов. Приведите их классификацию.
10. Перечислите где применяют порошковые магнитотвердые материалы.
11. Опишите особенности магнитоstrictionных материалов и их применение.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

После изучения теоретического курса учащиеся должны выполнить контрольную работу. Вариант контрольного задания определяется по двум последним цифрам шифра (номера зачетной книжки) учащегося. Например, учащийся, имеющий шифр 1234, выполняет вариант 34 (см. таблицу вариантов контрольной работы).

При оформлении работ следует придерживаться следующих требований:

1. Контрольная работа выполняется на стандартных листах формата

А4 с пронумерованными страницами одним из следующих способов:

- машинописным; текст печатается на одной стороне листа через 1 (один) интервал, шрифт 14,

- рукописным чертёжным шрифтом по ГОСТ 2.304 с высотой букв и цифр не менее 2,5 мм; следует писать чётко, чёрной пастой, тушью или чернилами;

- машинным, с применением печатающих и графических устройств вывода ЭВМ. Текст печатается через один интервал, размер шрифта 14.

2. Контрольная работа включает:

- титульный лист;
- содержание;
- основную часть;
- список использованных источников.

3. Титульный лист является первым листом и оформляется в соответствии с приложением Д Стандарта предприятия СТП БГПК 001–2011.

4. Текстовая часть домашней контрольной работы также оформляется в соответствии со Стандартом предприятия СТП БГПК 001–2011.

5. Последовательность заполнения листов домашней контрольной работы должна выдерживаться в соответствии с заданием. Условие каждого задания должно быть приведено полностью.

6. Все рисунки и таблицы должны быть пронумерованы сквозной нумерацией.

7. После выполнения последнего задания должен быть приведен список использованных источников.

8. Домашняя контрольная работа помещается в папку с верхним прозрачным листом, либо в папку-скоросшиватель, либо листы работы могут быть скреплены с помощью степлера или ниток.

9. Работа должна быть выполнена и предоставлена на рецензию своевременно, в соответствии с учебным графиком. После получения зачтенной работы необходимо внести дополнения и исправления по замечаниям рецензии.

Если работа не зачтена, учащийся дорабатывает ее в соответствии с рекомендациями преподавателя. Доработка производится в той же контрольной работе после рецензии преподавателя.

10. При затруднении в выполнении какого – либо задания учащийся может обратиться к преподавателю за консультацией.

**Критерии оценки
результатов учебной деятельности
учащихся заочного отделения при выполнении
домашней контрольной работы
по учебной дисциплине «Электрорадиоматериалы»**

<i>Результат усвоения учебного материала по дисциплине</i>	<i>оценка результатов учебной деятельности.</i>
<p>Работа выполнена не в полном объеме или не соответствует заданию. Вопросы не раскрыты или раскрыты частично. Много нарушений в последовательности, логичности изложения материала. Ответы на контрольные вопросы безграмотны или обоснованы безграмотно. Допущено множество конструктивных, технологических, математических ошибок. Контрольная работа и ее графическая часть оформлены неаккуратно, небрежно, с множественными грамматическими и стилистическими ошибками, нарушениями требований стандартов ЕСКД и ЕСТД. Учащийся не способен обосновать принятые решения или не владеет материалом, изложенном в ответах на контрольные вопросы.</p>	<i>не зачтено</i>
<p>Работа выполнена в полном объеме и соответствует заданию. Материал изложен последовательно, логично, грамотно. Соблюдена в целом логика и последовательность изложения материала. Ответы на контрольные вопросы с технической точки зрения обоснованы достаточно полно и достаточно убедительно и являются результатом исследовательской, творческой работы учащегося с учетом известных направлений в развитии науки и техники. Контрольная работа и ее графическая часть оформлены аккуратно, в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД и ЕСТД</p>	<i>зачтено</i>

Таблица вариантов для контрольной работы

№ варианта		Номера вопросов	№ варианта		Номера вопросов
01	51	8,15,26,36,52, 66	26	76	5,20,31,46,52, 76
02	52	9,16,27,37,53, 67	27	77	6,21,32,47,53, 76
03	53	10,17,28,38, 54,68	28	78	7,22,33,48,54, 77
04	54	1,18,29,39,55,69	29	79	8,23,34,49,55, 78
05	55	9,19,30,40,56,70	30	80	9,25,35,50,56, 79
06	56	8,20,31,41,57, 71	31	81	10,24,26,36,57, 80
07	57	1,21,32,42,58, 72	32	82	11,17,27,37,58, 66
08	58	2,22,33,43,59, 73	33	83	12,18,28,38,59, 67
09	59	3,23,34,44,60, 74	34	84	13,19,29,39,60, 68
10	60	4,24,35,45,61, 75	35	85	14,20,30,40,61, 69
11	61	5,25,31,46,62, 76	36	86	15,16,31,41,62, 70
12	62,	6,16,26,47,63, 77	37	87	4,21,32,42,63, 71
13	63	7,17,27,48,64, 78	38	88	5,22,33,43,64, 72
14	64	8,18,28,49,65, 79	39	89	6,23,34,44,65, 73
15	65	9,19,29,50,51, 80	40	90	7,24,35,45,51, 74
16	66	10,20,30,36,52, 66	41	91	8,25,30,46,52, 75
17	67	11,21,32,37,53, 67	42	92	9,20,21,47,53, 76
18	68	12,22,33,38,54, 68	43	93	10,21,26,48,54, 77
19	69	13,23,34,39,55, 69	44	94	3,22,27,49,55, 78
20	70	14,24,35,40,56, 70	45	95	1,24,28,50,56, 79
21	71	15,25,26,41,57, 71	46	96	2,25,29,36,57, 80
22	72	1,16,27,42,58, 72	47	97	11,16,30,37,58, 66
23	71	2,17,28,43,59, 73	48	98	12,17,31,38,59, 67
24	74	3,18,29,44,60, 74	49	99	13,18,32,39,60, 68
25	75	4,19,30,45,51, 75	50	00	14,19,33,40,61, 70

ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Контрольные вопросы

1. Перечислите и опишите виды химических связей. Сделайте сравнение различных видов химических связей и выделите наиболее прочную химическую связь.
2. Перечислите и опишите типы кристаллической решетки. Проявите влияние температуры на тип кристаллической решетки. Выделите материалы, обладающие анизотропией.
3. Перечислите и опишите дефекты кристаллической решетки. Проявите влияние дефектов решетки на свойства металлов и выделите дефекты при кристаллизации.
4. Перечислите и охарактеризуйте механические свойства веществ. Сделайте сравнение различных видов деформации и выделите материалы обладающие упругой деформацией.
5. Перечислите и охарактеризуйте методы определения твердости материалов. Сделайте сравнение индикаторов, применяемых при измерении твердости различными приборами. Выделите этапы определения твердости по Роквеллу.
6. Перечислите и охарактеризуйте термические свойства веществ. Сделайте сравнение теплоемкости и теплопроводности. Выделите материалы устойчивые к термоударам.
7. Определите назначение и объясните процесс физико-химического анализа. Постройте диаграмму плавкости и выделите на ней фазы сплавов.
8. Перечислите и охарактеризуйте виды коррозии в металлах и сплавах. Сравните химическую и электрохимическую коррозию. Выделите методы механической и химической защиты от коррозии.
9. Перечислите и охарактеризуйте квантовые числа. Опишите механизм образования энергетических зон. Установите связь между валентной зоной и зоной проводимости. Выделите группы материалов с точки зрения зонной теории.
10. Назовите и опишите основные диаграммы двойных сплавов. Составьте схематично диаграммы двойных сплавов. Выделите стальную часть диаграммы железо-углерод.
11. Определите назначение и опишите основные операции термической обработки сплавов. Сделайте сравнение операций химико-термической обработки. Выделите группу легированных сталей.
12. Охарактеризуйте латуни. Опишите свойства и определите области применения латуней. Выделите легирующие элементы.
13. Перечислите и опишите свойства проводниковых материалов. Определите области применения. Выделите металлы и сплавы используемые в качестве жидких проводников.

14. Охарактеризуйте медь. Опишите свойства и определите области применения меди. Раскройте смысл мягкой и твердой меди.
15. Охарактеризуйте алюминий. Опишите свойства и определите области применения алюминий. Выделите марки алюминиевой проволоки.
16. Охарактеризуйте бронзы. Опишите свойства и определите области применения бронз. Выделите легирующие элементы.
17. Охарактеризуйте сплавы алюминия. Опишите свойства и определите области применения сплавов алюминия. Выделите легирующие элементы.
18. Охарактеризуйте железо. Опишите свойства и определите области применения железа. Определите железо как ферромагнитный материал.
19. Охарактеризуйте стали. Опишите свойства и определите области применения сталей. Выделите легирующие элементы и влияние их на свойства сталей.
20. Охарактеризуйте натрий. Опишите свойства и определите области применения натрия. Определите натрий как материал для изготовления проводов.
21. Охарактеризуйте сверхпроводники. Опишите свойства и определите области применения сверхпроводников. Раскройте смысл мягких и твердых сверхпроводников.
22. Охарактеризуйте криопроводники. Опишите свойства и определите области применения криопроводников. Выделите группу металлов, применяемых в качестве криопроводников.
23. Охарактеризуйте манганин. Опишите свойства и определите области применения манганина. Раскройте смысл отжига манганина.
24. Охарактеризуйте константан. Опишите свойства и определите области применения константана. Выделите примеси и их влияние на свойства константана.
25. Охарактеризуйте проводящие композиционные материалы. Опишите свойства и определите области применения проводящих композиционных материалов. Выделите группу металлокерамических и металлополимерных композиций.
26. Охарактеризуйте проводящие проводниковые материалы для электронагревательных элементов. Опишите свойства и определите области применения проводниковых материалов для электронагревательных элементов. Выделите группу хромоалюминиевых сплавов.
27. Перечислите и опишите благородные материалы. Определите области применения благородных материалов. Выделите материалы, обладающие наибольшей химической стойкостью к условиям окружающей среды и действию агрессивных сред.
28. Перечислите и опишите тугоплавкие материалы. Определите области применения тугоплавких материалов. Выделите материалы, применяемые в качестве сверхпроводников.

29. Перечислите и опишите материалы специального назначения. Определите области применения материалов специального назначения. Выделите группу контактолов.
30. Перечислите требования к контактными материалам и опишите виды износов. Определите материалы для скользящих контактов. Выделите группу материалов для размыкающихся контактов.
31. Перечислите требования и опишите типы припоев. Приведите марки припоев. Выделите группу электровакуумных припоев.
32. Перечислите и опишите виды поляризации. Определите релаксационную поляризацию. Выделите группу полярных и неполярных диэлектриков.
33. Охарактеризуйте электропроводность диэлектриков. Опишите токи и определите их влияние на электропроводность диэлектриков. Выделите особенности поверхностного и объемного сопротивлений.
34. Охарактеризуйте диэлектрические потери диэлектриков. Нарисуйте векторную диаграмму и определите угол диэлектрических потерь. Выделите свойства определяющие тангенс угла диэлектрических потерь диэлектрика.
35. Охарактеризуйте явление пробоя диэлектриков. Опишите и приведите формулу пробивного напряжения. Выделите параметры, определяющие электрическую прочность диэлектрика.
36. Приведите классификацию и охарактеризуйте диэлектрики по агрегатному состоянию. Сравните реакции полимеризации и поликонденсации. Выделите группу термопластичных материалов.
37. Перечислите и опишите нефтяные электроизоляционные масла. Определите области применения нефтяных масел. Выделите средства борьбы со старением масел.
38. Перечислите и опишите синтетические жидкие диэлектрики. Определите области применения синтетических жидких диэлектриков. Выделите основное преимущество синтетических жидких диэлектриков по сравнению с нефтяными маслами.
39. Перечислите и опишите газообразные диэлектрики. Определите области применения газообразных диэлектриков. Выделите элегаз и его преимущества как электроизоляционного материала.
40. Перечислите и опишите полимеризационные синтетические полимеры. Определите области применения синтетических полимеров. Выделите группы фторорганических и кремнийорганических полимеров.
41. Перечислите и опишите поликонденсационные синтетические полимеры. Определите области применения поликонденсационных полимеров. Выделите группу фенопластов как конструкционных материалов.
42. Охарактеризуйте электроизоляционные пластмассы. Опишите свойства и определите области применения электроизоляционных пластмасс. Выделите группу фенопластов.

43. Охарактеризуйте слоистые пластики. Опишите свойства и определите области применения электроизоляционных пластмасс. Выделите группу фольгированных слоистых материалов.
44. Охарактеризуйте пленочные электроизоляционные материалы. Опишите свойства и определите области применения пленочных электроизоляционных материалов. Выделите группу электроизоляционных материалов на основе каучуков.
45. Охарактеризуйте лаки и эмали. Опишите свойства и определите области применения лаков и эмалей. Выделите группу компаундов как электроизоляционных материалов.
46. Охарактеризуйте флюсы. Опишите свойства и определите области применения флюсов. Выделите требования предъявляемые к флюсам.
47. Охарактеризуйте стекла. Опишите свойства и определите области применения стекол. Выделите стекловолокно как электроизоляционный материал.
48. Охарактеризуйте ситаллы. Опишите свойства и определите области применения ситаллов. Выделите основные свойства ситаллов отличающих их от стекол.
49. Охарактеризуйте конденсаторную керамику. Опишите свойства и определите области применения конденсаторной керамики различных классов. Выделите способы изменения свойств керамических изделий.
50. Охарактеризуйте установочную керамику. Опишите свойства и определите области применения установочной керамики различных классов. Выделите ультрафорфор и сравните с радиофорфором.
51. Охарактеризуйте слюду. Опишите свойства и определите области применения слюды. Выделите особенности синтетической слюды.
52. Охарактеризуйте сегнетодиэлектрики. Опишите свойства и определите области сегнетодиэлектриков. Выделите сегнетоэлектрики с прямоугольной петлей и их применение.
53. Охарактеризуйте пьезоэлектрики. Опишите свойства и определите области пьезоэлектриков. Выделите кварц и его особенности.
54. Охарактеризуйте электреты. Опишите свойства и определите области применения электретов. Раскройте смысл времени жизни электрета.
55. Охарактеризуйте диэлектрики для оптической генерации. Опишите свойства и определите области применения диэлектриков для оптической генерации. Раскройте смысл квантового выхода.
56. Охарактеризуйте электрооптические материалы. Опишите свойства и определите области применения электрооптических материалов. Раскройте смысл жидкокристаллического состояния.
57. Охарактеризуйте полупроводники. Опишите собственную и примесную проводимость полупроводников. Определите процессы генерации и рекомбинации. Раскройте смысл энергии активации.
58. Охарактеризуйте полупроводники. Опишите электронную проводимость полупроводников. Определите донорскую примесь. Раскройте смысл полупроводника n-типа.

59. Охарактеризуйте полупроводники. Опишите дырочную проводимость полупроводников. Определите акцепторную примесь. Раскройте смысл полупроводника p-типа.
60. Перечислите факторы, влияющие на проводимость полупроводников. Опишите зависимость проводимости полупроводников от температуры и приведите график этой зависимости. Выделите диапазон значений удельного электрического сопротивления ρ для проводников при комнатной температуре.
61. Перечислите факторы, влияющие на проводимость полупроводников. Опишите зависимость проводимости полупроводников от внутренней структуры. Раскройте смысл равновесных и неравновесных носителей зарядов.
62. Охарактеризуйте германий. Опишите свойства и определите области применения германия. Выделите легирующие примеси.
63. Охарактеризуйте кремний. Опишите свойства и определите области применения кремния. Раскройте суть метода зонной плавки.
64. Охарактеризуйте кремний. Приведите схему установки и опишите метод зонной плавки. Раскройте суть метода бестигельной зонной плавки.
65. Охарактеризуйте кремний. Приведите схему установки и опишите метод вытягивания из расплава (метод Чохральского). Выделите основные соединения, которые используют в полупроводниковом производстве для получения поликристаллического и монокристаллического кремния.
66. Охарактеризуйте селен и теллур. Опишите свойства и определите области применения селена и теллура. Выделите спектральные характеристики селена.
67. Охарактеризуйте сложные полупроводники типа $A^{IV}B^{IV}$. Опишите свойства и определите области применения сложных полупроводников типа $A^{IV}B^{IV}$. Выделите спектральные свойства карбида кремния.
68. Охарактеризуйте сложные полупроводники типа $A^{III}B^V$. Опишите свойства и определите области применения сложных полупроводников типа $A^{III}B^V$. Раскройте смысл структуры типа цинковой обманки.
69. Охарактеризуйте сложные полупроводники типа $A^{II}B^{VI}$. Опишите свойства и определите области применения сложных полупроводников типа $A^{II}B^{VI}$. Выделите группу активаторов халькогенидов, применяемых в качестве люминофоров.
70. Охарактеризуйте сложные полупроводники типа $A^{IV}B^{VI}$ (халькогениды свинца). Опишите свойства и определите области применения сложных полупроводников типа $A^{IV}B^{VI}$ (халькогениды свинца). Выделите халькогенид свинца, применяемый при температуре 300...700°C
71. Охарактеризуйте сложные полупроводники типа $A_2^VB_3^{VI}$. Опишите

- свойства и определите области применения сложных полупроводников типа $A_2^V B_3^{VI}$. Выделите халькогенид, применяемый для фотопроводящих мишеней.
72. Охарактеризуйте оксидные полупроводники. Опишите свойства и определите области применения оксидных полупроводников. Выделите группу стеклообразных полупроводников.
 73. Охарактеризуйте органические полупроводники. Опишите свойства и определите области применения органических полупроводников. Выделите основные свойства характеризующие приборы изготовленные на основе органических полупроводников.
 74. Охарактеризуйте магнитные материалы. Опишите петли гистерезиса при разных напряженностях и приведите графики этих зависимостей. Раскройте смысл коэрцитивной силы.
 75. Охарактеризуйте кривую намагниченности. Опишите характерные участки кривой намагниченности и приведите график этой зависимости. Раскройте смысл магнитной проницаемости.
 76. Охарактеризуйте магнитомягкие материалы для низкочастотных магнитных полей. Опишите магнитомягкие материалы для низкочастотных магнитных полей и определите их области применения. Раскройте смысл текстуры прокатки.
 77. Охарактеризуйте магнитомягкие материалы для высокочастотных магнитных полей. Опишите магнитомягкие материалы для высокочастотных магнитных полей и определите их области применения. Выделите группу литиевоцинковых ферритов.
 78. Охарактеризуйте литые материалы на основе сплавов. Опишите литые материалы на основе сплавов и определите их области применения. Раскройте смысл дисперсионного твердения сплава.
 79. Охарактеризуйте порошковые магнитотвердые материалы (постоянные магниты). Опишите порошковые магнитотвердые материалы (постоянные магниты) и определите их области применения. Выделите магниты узкого применения.
 80. Охарактеризуйте магнитные материалы специального назначения. Опишите магнитные материалы специального назначения и определите их области применения. Выделите магннотстрикционные магнитные материалы.

Приложение Д

Форма титульного листа для домашней контрольной работы (16)

Министерство образования Республики Беларусь (16)

Филиал Учреждения образования «Брестский (16)

государственный технический университет»

Политехнический колледж

Заочное отделение

(24Ж)

ДОМАШНЯЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1

(18)

Электрорадиоматериалы

(наименование дисциплины)

(14)

Вариант № 23

Преподаватель (14)

Л.П.Бойко (14)

(инициалы, фамилия)

(14)

Выполнил учащийся

И.М.Иванов

(инициалы, фамилия)

(14)

4 курса группы Рз7

специальности

(14)

2-39 00 32 «Проектирование и

производство радиоэлектронных (14)

средств»

(14)

Шифр учащегося 2423

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Общие методические указания по изучению дисциплины.....	4.
2. Перечень рекомендуемой литературы.....	5
3. Программа дисциплины с методическими указаниями по изучению содержания разделов и тем.....	6
4. Методические указания по выполнению контрольной работы.....	33
5. Критерии оценки контрольной работы.....	34
6. Таблица вариантов.....	35
7. Задания для контрольной работы.....	36