

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

Национальный авиационный университет

Давиденко

В. П.

**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ
И КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Методические указания и контрольные задания
для студентов Института заочного и дистанционного
обучения специальности 7.091301
"Информационно-измерительные системы"
специализации 7.091301.02 "Авиационные
и вычислительные комплексы"

Киев 2000

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
Национальный авиационный университет



ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ
И КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Методические указания и контрольное задание для студентов Института заочного и дистанционного обучения специальности 7.091301 "Информационно-измерительные системы" специализации 7.091301.02 "Авиационные и вычислительные комплексы"

Киев 2000

УДК 621.3-03+620 (0.76.5)

ББК 322Р

Э 455

Составители: В.Ф. Лабунец, И.П. Изденко
Т.С. Климова, М.Н. Свирид
Рецензент А.М. Овсянкин

Утверждено на заседании секции механического факультета редсовета КМУГА 10 февраля 1999 года.

3455 Электротехнические и конструкционные материалы: Методические указания и контрольное задание /Сост.: В.Ф. Лабунец, И.П. Изденко, Т.С. Климова, М.Н. Свирид. - К: НАУ, 2000. - 60 с.

Содержат программу, рекомендации по изучению строения материалов и физики явлений, происходящих в конструктивных, проводниковых, диэлектрических и магнитных материалах. Кратко изложены электрические и магнитные свойства различных материалов.

Методические указания предназначены для студентов 2-го курса Института заочного и дистанционного обучения специальности 7.091301 "Информационно-измерительные системы" специализации 7.091301.02 "Авиационные измерительные и вычислительные комплексы".

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Дисциплина "Электротехнические и конструкционные материалы" предназначена для студентов, специализирующихся в области технической эксплуатации авиационных измерительных и вычислительных комплексов.

Цель дисциплины - дать будущим специалистам знания номенклатуры, состава, структуры, физико-механических, электрических, магнитных и эксплуатационных свойств материалов, применяемых в авиационных измерительных и вычислительных комплексах.

Для достижения указанной цели студентам необходимо: 1) прослушать установочную лекцию; 2) самостоятельно проработать учебный материал; 3) выполнить контрольное задание; 4) провести экспериментальные лабораторные работы, обработать результаты и сдать лабораторные работы; 5) сдать зачет.

Учебная дисциплина "Электротехнические и конструкционные материалы" состоит из шести разделов: "Основы материаловедения", "Конструкционные материалы", "Проводниковые материалы", "Диэлектрические материалы", "Полупроводниковые материалы" и "Магнитные материалы".

Для успешного выполнения контрольного задания целесообразно следовать методическим указаниям, а при необходимости обращаться за консультацией к преподавателям кафедры "Технологии ремонта, производства летательных аппаратов и авиационного материаловедения".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

О с н о в н о й

1. ЛАХТИН Ю.М., ЛЕОНТЬЕВА В.П. *Материаловедение*. - М.: Машиностроение, 1980.-493с.

2. БОГОРОДИЦКИЙ Н.П., ПАСЫНКОВ В.В., ТАРЕЕВ Б.М. Электротехнические материалы. - Энергоатомиздат, 1985. - 303 с.

3. ПАСЫНКОВ В.В., СОРОКИН В.С. Материалы электронной техники. - М.: Высш.шк., 1986. - 367 с.

4. МОРОЗОВА И.Д. Электрорадиоматериалы. - М.: Воздушн. транспор., 1993. - 200 с.

Д о п о л н и т е л ь н о й

5. КАЛИНИН Н.Н., СКИБИНСКИЙ Г.Л., НОВИКОВ П.П. Электрорадиоматериалы. - М.: Высш.шк., 1981. - 203 с.

6. ТАРЕЕВ Б.М., КОРОТКОВА Н.В., ПЕТРОВ В.М., ПГЕОБРАЖЕНСКИЙ А.А. Электрорадиоматериалы. - М.: Высш.шк., 1978. - 336 с.

С п р а в о ч н о й

7. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ материалы: Справочник /Под ред. В.В. Березина и Н.С. Прохорова. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 504 с.

8. МАТЕРИАЛЫ в приборостроении и автоматике: Справочник /Под ред. Ю.М. Пятиня. - М.: Машиностроение, 1982. - 528 с.

1. ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Современное состояние технических средств, приборов и устройств - это результат применения новых материалов, характеризующихся высокими удельными параметрами, особенностями структуры, а, следовательно, новыми механическими, электрическими, магнитными, оптическими и другими свойствами.

Материаловедение изучает две группы материалов: металлические и неметаллические.

Эти группы материалов являются основной базой для изготовления конструкционных, диэлектрических, проводниковых и магнитных материалов, применяемых в радиоэлектронной аппаратуре, измерительных приборах, автоматике, вычислительной технике.

Теоретической основой материаловедения является современная физика и химия. Однако, опираясь на физико-химические данные, материаловедение остается технической, инженерной дисциплиной, помогающей правильно выбрать и эксплуатировать материал с учетом как их физико-химико-механических свойств, так и эксплуатационных, технологических и экономических показателей.

В связи с тем, что свойства материалов зависят от их структуры и условий эксплуатации (среды, температуры, давления, влажности, радиации, вибрации и т.п.), изучение этих материалов рекомендуется в такой последовательности: 1) состав и структура материала; 2) зависимость свойств материала от структуры; 3) влияние внешних факторов на свойства материалов; 4) применение материалов; 5) влияние эксплуатационных условий на свойства материалов.

1.1. Основные типы химических связей

Свойства материалов определяются их химическим составом и внутренним строением (структурой). В зависимости от условий получения материалов, имеющих один и тот же химический состав, их свойства могут иметь существенные отличия. Свойства материалов, прежде всего, зависят от типа и энергии химической связи составляющих данный материал

атомов. Различают четыре основных типа химической связи: 1) ковалентная или гомеоплярная; 2) металлическая; 3) ионная или гетероплярная; 4) поляризованная или Ван-дер-Ваальсова.

К о в а л е н т н а я связь образуется между атомами одного или нескольких химических элементов (электроотрицательных) с близкими ионизационными потенциалами, у которых на внешних оболочках имеется половина или больше электронов.

Сущность ковалентной связи заключается в своеобразном обобщении наружных электронов соседними атомами путем образования пар электронов с противоположно направленными магнитными моментами (спинами). При этом проявляется тенденция к заполнению электронной оболочки у каждого из взаимодействующих атомов.

В зависимости от строения (симметричное или асимметричное) молекулы с ковалентной связью бывает неполярными или полярными (дипольными). Этот тип связи характеризуется высокой прочностью. Он присущ таким материалам, как алмаз, кремний, германий, карбид кремния и др.

М е т а л л и ч е с к а я связь образуется между атомами одного или нескольких элементов (электроположительных), находящихся в среде свободных коллективизированных электронов. Притяжение между положительными ионами и движущимися между ними свободными электронами обуславливает целостность металла. Свободные электроны как бы "стягивают" взаимно отталкивающиеся ионы.

Специфика металлической связи состоит в том, что в обобщении электронов участвуют

все атомы кристаллов, и обобщенные электроны не локализируются вблизи с оих атомов, а свободно перемещаются внутри всей решетки, образуя "электронный газ". Благодаря наличию свободных электронов металлы обладают высокой электро- и теплопроводностью.

И о н н а я связь образуется при взаимодействии атомов с малым числом электронов на наружной оболочке с атомами у которых для заполнения наружной электронной оболочки не хватает небольшого числа электронов. Этот вид химических связей реализуется в ионных кристаллах.

Ионные тела почти всегда хрупкие, их кристаллы легко раскалываются по определенным плоскостям, а магнитные свойства зависят от магнитных особенностей образующих их ионов. Так как валентные зоны ионных кристаллов полностью заполнены, то в твердом состоянии эти вещества обладают свойствами или диэлектрика, или полупроводника (в зависимости от ширины запрещенной энергетической зоны). В жидком состоянии они - ионные проводники. Ионные кристаллические решетки имеют многие неорганические диэлектрики (соли, оксиды и др.).

П о л я р и з а ц и о н н а я и-и **В а н д е р - В а а л ь с о в а** связь образуется при взаимном сближении илекул различных веществ или атомов инертных газов и заключается в их связи между собой за счет постоянных или взаимно созданных дипольных моментов.

Это наиболее универсальный тип связи, возникающий между любыми частицами, однако она наиболее слабая, так как ее энергия примерно на два порядка ниже энергии ковалентной связи. У молекулярных тел х ато-

мы внутри молекул связаны прочными ковалентными связями, молекулы между собой соединены сравнительно слабыми поляризационными силами. Молекулярная связь легко разрушается тепловым движением.

Следует помнить, что одни и те же вещества в зависимости от внешних параметров (температуры, давления и т.п.), могут иметь различный тип связей. Так, например, олово при температуре выше 13°C имеет металлическую связь, - это так называемое белое олово β - Sn -металл, а ниже 13°C β - Sn - переходит в серое олово - α - Sn - полупроводник, в котором преобладает ковалентная связь. При этом резко изменяются свойства и олово переходит из пластического состояния в хрупкое.

1.2. Строение и свойства материалов

Всякое вещество может находиться в трех агрегатных состояниях: твердом, жидком и газообразном.

В твердых телах порядок расположения атомов определенный, закономерный, силы взаимного притяжения и отталкивания уравновешены, и твердое тело сохраняет свою форму.

В жидкостях частицы (атомы, молекулы) сохраняют лишь так называемый ближний порядок, т.е. в пространстве закономерно расположено небольшое количество атомов, а не атомы всего объема, как в твердом теле.

В газах нет закономерности расположения частиц (атомов, молекул): частицы хаотически двигаются, отталкиваются одна от другой и газ стремится занять возможно больший объем.

Таким образом, жидкое состояние - как бы промежуточное между твердым и газообразным; при соответствующих условиях возможен непосредственный переход из твердого состояния в газообразное без расплавления - сублимации (рис. 1).

Правильное, закономерное расположение частиц (атомов, молекул) в пространстве характеризует кристаллическое состояние, а неупорядоченное расположение частиц - аморфное.



Рис. 1. Области твердого, жидкого и газообразного состояния в зависимости от температуры и давления.

Кристаллическое строение можно представить себе в виде пространственной решетки, в узлах которой расположены атомы* (рис. 2).

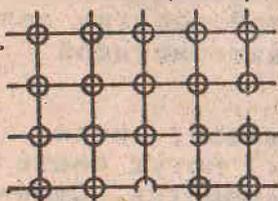


Рис. 2. Элементарная кристаллическая ячейка (простая кубическая)

Расположение атомов в кристалле весна удобно изображать в виде пространственных схем, так называемых элементарных кристаллических ячеек. Под элементарной кристаллической ячей-

* В металлах в узлах кристаллической решетки расположены не атомы, а положительно заряженные ионы, а между ними движутся свободные электроны, но обычно говорят, что в узлах кристаллической решетки находятся атомы.

кой подразумевается наименьший комплекс атомов, который при многократном повторении в пространстве позволяет воспроизвести пространственные кристаллические решетки, основными из которых являются: простая кубическая; кубическая; объемноцентрированная (рис. 3, а); кубическая гранецентрированная (рис. 3, б); гексагональная плотноупакованная (рис. 3, в); тетрагональная; триклинная; моноклинная; ромбическая и др.

Размеры кристаллической решетки характеризуются ее параметрами или периодами. Кубическую решетку определяет один параметр - длина ребра куба (см. рис. 3, а, б). Параметры имеют величины порядка атомных размеров и измеряются в ангстремах ($1 \text{ \AA} = 1 \cdot 10^{-8} \text{ см.}$).

Так, например, параметр решетки хрома, имеющего структуру объемноцентрированного куба, равен $2,978 \text{ \AA}$, а параметр решетки алюминия, имеющего структуру гранецентрированного куба - $4,041 \text{ \AA}$. Параметры решетки являются чрезвычайно важной характеристикой кристаллических тел.

Некоторые материалы (железо, титан, кобальт, олово, латунь и др.) могут иметь не одну, а две кристаллические решетки. Существование одного металла (вещества) в нескольких кристаллических формах носит название полиморфизма, или аллотропии. Аллотропические формы обозначаются буквами греческого алфавита α, β, γ и т.д., которые в виде индексов добавляются к символу, обозначающему элемент.

Кристаллические материалы, у которых свойства в разных направлениях одинаковы, называются изотропными, а если эти свойства разные - анизотропными.

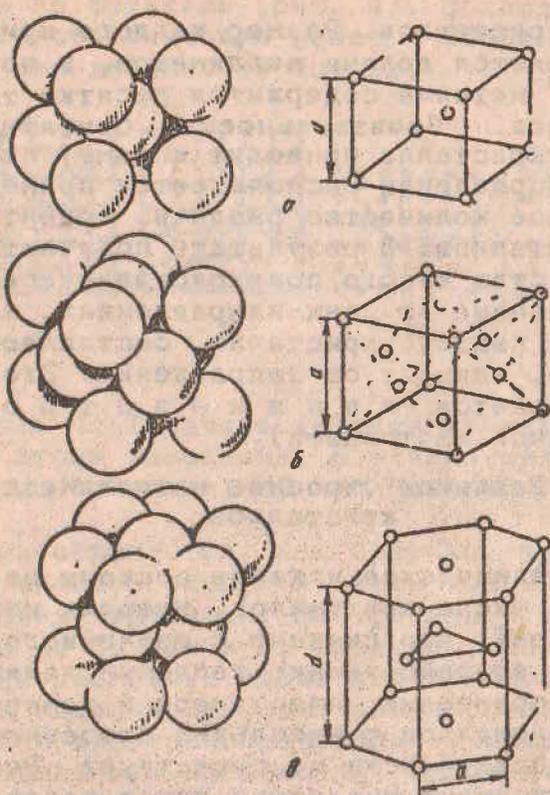


Рис. 5. Элементарные кристаллические ячейки: а - кубическая объемноцентрированная; б - кубическая гранецентрированная; в - гексагональная плотноупакованная.

В современном материаловедении применяются как монокристаллы, т.е. материалы, состоящие из одного кристалла, так и поликристаллы - состоящие из множества кристаллов - зерен.

Большинство материалов состоит из мно-

жества кристаллов. Размер каждого кристалла измеряется долями миллиметра, и поэтому в 1 см^3 металла содержится десятки тысяч кристаллов. Произвольность ориентировки каждого кристалла приводит к тому, что в любом направлении располагается примерно одинаковое количество различных ориентированных кристаллов. В результате получается, что свойства такого поликристаллического тела одинаковые во всех направлениях, хотя свойства каждого кристалла, составляющего это тело, зависят от направления. Это явление называется **к в а з и и з о т р о п и е й** (ложной изотропией).

1 3. Реальное строение металлических кристаллов

Металлическое изделие состоит из очень большого числа кристаллов, имеющих неправильную форму, что связано с различного рода внешними воздействиями: тепловым движением атомов, примесями, пластической деформацией и др. Кристаллов с идеальным строением в природе практически не существует. Реальные кристаллы имеют множество типов несовершенств или дефектов. Характер и степень нарушения правильности или совершенства кристаллического строения определяют в значительной степени свойства металлов. Поэтому необходимо рассмотреть встречающиеся несовершенства кристаллического строения или, что то же самое, строение реальных кристаллов.

Существует три типа основных дефектов кристаллического строения: 1) точечные; 2) линейные; 3) поверхностные.

Т о ч е ч н ы е дефекты - это атомы замещения, вакансии, дефекты дислокации и

дефекты по Френкелю (рис. 4). Последние вно-
сят в кристаллическую решетку больше иска-
жений, чем дефекты по Шоттки.

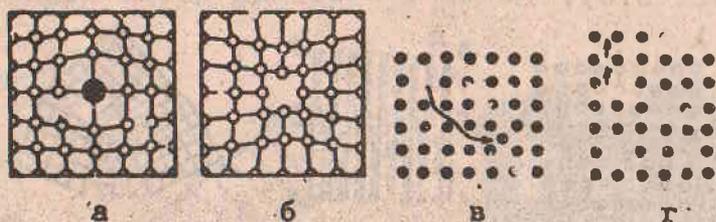


Рис. 4. Точечные дефекты кристаллов:
а - атомы замещения; б - вакансии;
в - по Френкелю; г - по Шоттки

Они образуются, как правило, при интен-
сивном внешнем энергетическом воздействии
(облучении частицами, нейтронами и т.д.).
Дефекты по Шоттки и по Френкелю, являясь
центрами рассеяния носителей зарядов, пони-
жают их подвижность, тем самым способствуют
повышению электросопротивления, однако в по-
лупроводниковых материалах, выполняя роль
примесей, они повышают количество носителей
электрических зарядов.

Л и н е й н ы е дефекты - это дис-
л о к а ц и и. Они бывают к р а е в ы е
и в и н т о в ы е. Краевая дислокация
(рис. 5, а) образуется, когда какая-нибудь
кристаллографическая плоскость обрывается
внутри кристалла и образуется полуплоскость,
называемая э к с т р а п л о с к о с т ь ю.
Край этой плоскости образует линейный
дефект (несовершенство) решетки, который
называется краевой дислокацией. Краевая дис-
локация может простирается в длину на мно-
гие тысячи параметров решетки, может быть

прямой, но может и выгибаться в ту или другую сторону. В пределе она может закрутиться - спираль, образуя винтовую дислокацию (рис. 5, б).

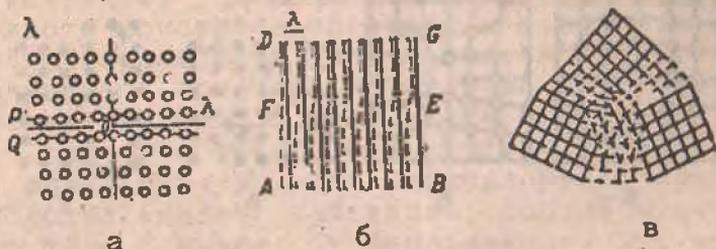


Рис. 5. Краевая (а) и винтовая (б) дислокации в кристаллической решетке; мозаичность структуры (в)

Краевые и винтовые дислокации оказывают существенное влияние на свойства металлических материалов. Они поглощают почти всю энергию, выделяющуюся в процессе пластического деформирования. Именно благодаря наличию дислокаций, происходит пластическое деформирование кристаллических материалов.

Кроме дислокационной структуры, важное значение имеет суммарная характеристика количества дислокаций, так называемая плотность дислокаций. Под последней понимают суммарную длину дислокаций в сантиметрах, приходящихся на 1 см^3 , т.е. единица плотности дислокаций $\rho = \frac{\text{см}}{\text{см}^3} = \text{см}^{-2}$. Для

металлов плотность дислокаций колеблется обычно в пределах $10^4 \dots 10^{13} \text{ см}^{-2}$. Зависимость прочности металлов σ от плотности дислокаций ρ показана на рис. 6. Минимальная прочность металлов наблюдается при плотнос-

ти дислокаций 10^6 см^{-2} (Состояние отжига).

Поверхностные дефекты располагаются по границам зерен кристалла в (Рис. 7).

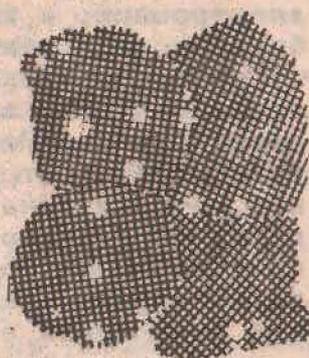
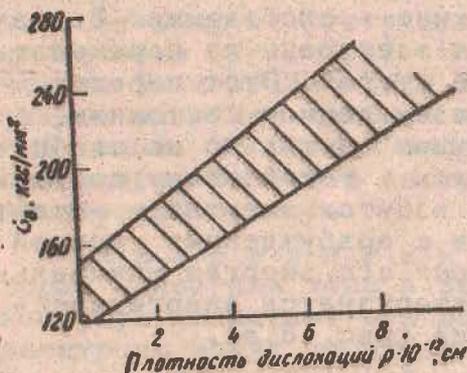


Рис. 6. Зависимость прочности металла от плотности дислокаций

Рис. 7. Поверхностные дефекты зерен кристаллов

Кроме указанных выше дефектов кристаллического строения существуют своеобразные энергетические дефекты решетки, а именно: фононы, экситоны, избыточные электроны и дырки, которые оказывают существенное влияние на электрические, магнитные, оптические и другие свойства кристаллов.

1.4. Элементы зонной теории твердого тела

Согласно зонной теории твердого тела в изолированном атоме электроны находятся на орбитах, которым соответствует строго определенные значения энергии - энергетические уровни, т.е. каждый атом имеет дискретный энергетический спектр. В соответствии с принципом Паули на одном энергетическом

уровне не может быть более двух электронов. Под воздействием атомного ядра электроны стремятся занять ближайšie к нему уровни с минимальной энергией. Поэтому нижние энергетические уровни оказываются заполненными электронами, а верхние - свободными. В возбужденном состоянии электроны не переходят из одного уровня на другой. Этот переход осуществляется в возбужденном состоянии, причем только "скачком" и только на свободный уровень. Стремясь к устойчивому состоянию, атом излучает избыток энергии в момент перехода электронов с возбужденных уровней на уровни, на которых его энергия минимальна. Сказанное характеризуется энергетической диаграммой атома (рис. 8, а).

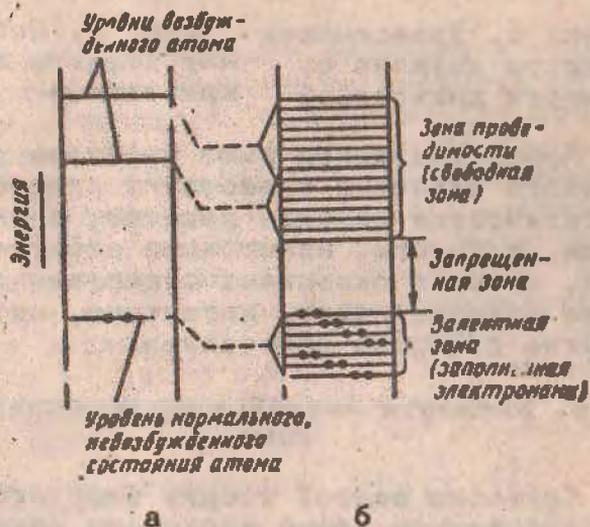


Рис. 8. Схема расположения энергетических уровней: а - возбужденного атома; б - неметаллического твердого тела

В твердом теле, состоящем из множества взаимодействующих атомов, электронные уровни (как заполненные электронами, так и не заполненные ими) несколько смещаются, в результате чего образуется зона энергетических уровней, состоящая из отдельных энергетических уровней уединенных атомов (рис. 8,б). Разрешенные энергетические зоны разделяются запрещенными интервалами энергии, которые называются запрещенной зоной. От ширины запрещенной зоны зависят многие свойства материалов, в том числе электропроводность.

Проводники - материалы, у которых валентная зона и зона проводимости вплотную прилегают или даже перекрываются, и электроны могут переходить на свободные уровни за счет собственной тепловой энергии или под влиянием слабого электрического поля.

Диэлектрики - материалы, ширина запрещенной зоны которых велика и достигает в некоторых случаях 8 эВ.

Полупроводники - материалы, ширина запрещенной зоны которых не превышает 3 эВ, занимающие промежуточное положение между проводниками и диэлектриками.

Различия в положении энергетических зон у диэлектриков, полупроводников и проводников показано на рис. 8.

Следует отметить, что такое разделение твердых тел носят в значительной степени условный характер. Так, например, с использованием в качестве полупроводников материалов со все более широкой запрещенной зоной, деление твердых тел на полупроводники и диэлектрики постепенно утрачивает свой изначальный смысл.

1.5. Сплавы. Связь свойств сплавов с их составом и структурой

Под сплавом подразумевается вещество, полученное сплавлением двух или более элементов. Составляющие сплав элементы могут вступать в химическое взаимодействие, образуя химические соединения, или взаимно растворяться друг в друге, образуя растворы. Если компоненты - простые вещества - не образуют химических соединений или твердых растворов, тогда строение сплава является механической смесью отдельных частиц, зерен обоих компонентов.

В отличие от механической смеси твердый раствор является однофазным, состоит из одного вида кристаллов, имеет одну кристаллическую решетку; в отличие от химического соединения твердый раствор существует не при строго определенном соотношении компонентов, а в интервале концентраций. Существует два типа твердых растворов: 1) внедрения; 2) замещения.

Для графического изображения состояния сплава строят диаграммы состояния. По оси ординат откладывают температуру, а по оси абсцисс - процентное содержание элементов, образующих данный сплав.

Наиболее типичными диаграммами состояния являются следующие (рис. 9): а) эвтектического типа; б) неограниченные твердые растворы; в) ограниченные твердые растворы; г) химические соединения.

Свойства сплавов при изменении состава подчиняются определенным закономерностям, которые получили название закономерностей Н.С. Курнакова. Характер этой закономерности

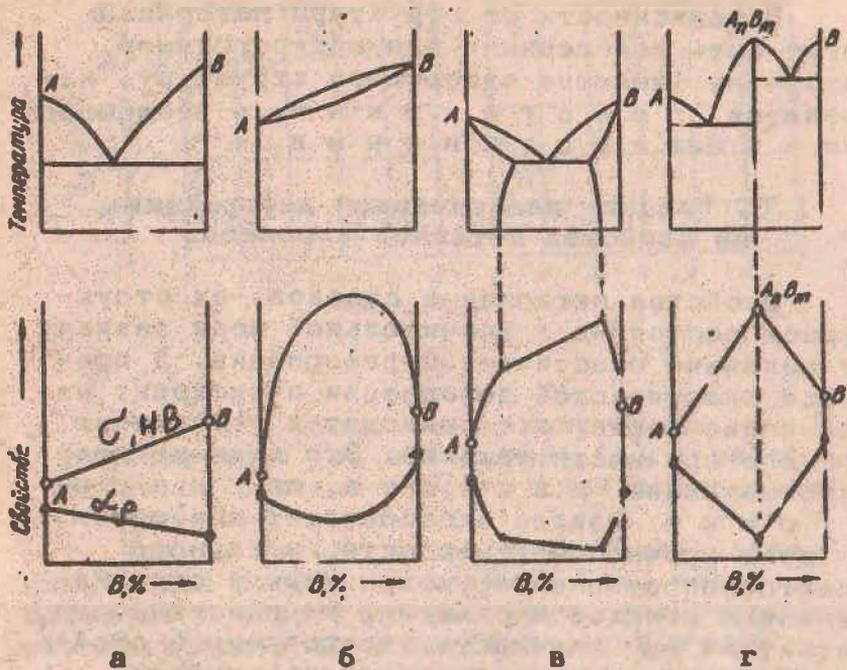


Рис. 9. Свойства сплавов и вид их диаграмм состояния (по Н.С. Курнакову):
 а - для механической смеси компонентов;
 б - для неограниченных твердых растворов;
 в - при образовании ограниченных твердых растворов;
 г - при образовании химических соединений;
 σ - предел прочности; ρ - удельное электрическое сопротивление; HB - твердость по Бринелю; α_p - температурный коэффициент удельного сопротивления;
 λ - электропроводность

ти определяется структурой сплавов (видом фазовой диаграммы).

В зависимости от структуры материалы могут быть гомогенными или гетерогенными. Материалы, имеющие однородную структуру, называются гомогенными, а неоднородную - гетерогенными.

1.6. Влияние пластической деформации на свойства металлов и сплавов

Свойства металлов и сплавов, их структурное состояние в значительной мере зависят от величины пластической деформации. В процессе пластической деформации происходит измельчение зерен, что приводит к увеличению предела прочности металла. Это явление получило название наклепа, или нагартовки. Наклеп способствует повышению предела прочности, твердости, удельного электросопротивления, коэрцитивной силы металлов и сплавов и снижению их пластичности, магнитной проницаемости, коррозионной стойкости, а также изменению других свойств.

График изменения механических свойств в зависимости от степени пластической деформации меди и алюминия показан на рис. 10. По мере увеличения степени деформации (уменьшения поперечного сечения) предел прочности σ_B растет, а относительное удлинение δ падает. Таким образом, пластическая деформация вносит существенные изменения в структуру металла.

Кристаллическая структура пластически деформированного металла характеризуется не только искажением кристаллической решетки, но и определенной ориентировкой зерен, т.е. текстурой. С увеличением деформации степень текстурованности возрастает и при больших степенях деформации достигает 10%, т.е. все зерна оказываются одинаково ориентированными.

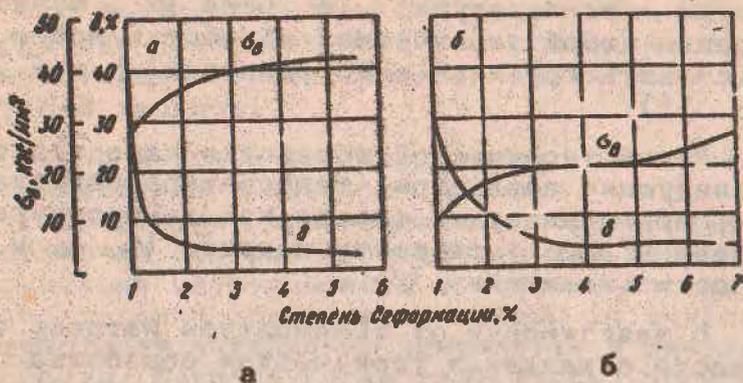


Рис. 10. Изменение механических свойств меди (а) и алюминия (б) в зависимости от степени пластической деформации

Наклеп является для одних целей полезным, а для других - вредным. Так, например, нагартовка широко используется для упрочнения проволоки, электротехнической стали и др. В тех случаях, когда наклеп нежелателен, его последствия можно снять с помощью рекристаллизации, сущность которой будет рассмотрена далее.

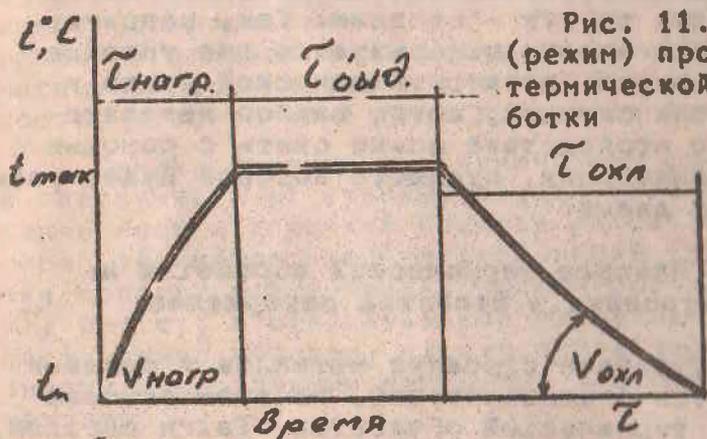
1.7. Влияние термической обработки на строение и свойства материалов

Внутреннее строение металлов и сплавов изменяется с температурой. На этом основан процесс термической обработки. Таким образом, термическая обработка - это процесс изменения структуры и свойств металлов и сплавов путем нагрева и охлаждения без изменения химического состава. Основные факторы воздействия при термической об-

работке - температура t и время τ , поэтому режим любой термической обработки можно представить графиком в координатах t и τ (рис. 11).

Режим термической обработки характеризуют следующие параметры: температура нагрева t ; время выдержки сплава при температуре нагрева $\tau_{\text{выд}}$; скорость нагрева $V_{\text{нагр}}$ и скорость охлаждения $V_{\text{охл}}$.

В зависимости от температуры нагрева и скорости охлаждения термическая обработка подразделяется на следующие виды: закалка, отжиг, отпуск, нормализация, рекристаллизация, старение, термомеханическая обработка, поверхностная закалка токами высокой частоты, лазерная закалка и др.



При термической обработке металлов и сплавов изменяются состав и количественное соотношение фаз, тип кристаллических модификаций, плотность дислокаций, вакансий и других показателей, а следовательно, механические, электрические, магнитные свойства и т.д.

В полупроводниках благодаря термической обработке можно изменять тип проводимости, концентрацию, время жизни и подвижность носителей зарядов.

З а к а л к а - термическая операция, заключающаяся в нагреве сплава выше температуры превращения с последующим достаточно быстрым охлаждением для получения структурно неустойчивого состояния сплава. После закалки повышаются пределы прочности и твердости материала, изменяются и другие свойства. Закалке подвергают сталь, бронзу, латунь, алюминиевые и другие сплавы, полупроводниковые материалы.

При закалке стали в зависимости от скорости охлаждения образуется мартенсит или тростит. **М а р т е н с и т** - это пересыщенный твердый раствор углерода в α -железе. Он отличается высокой твердостью и низкой магнитной проницаемостью.

Закалка способствует изменению зерна, а следовательно, увеличению электрического сопротивления, коэрцитивной силы, при этом магнитная проницаемость уменьшается. Процессу закалки сопутствует отпуск.

О т п у с к - термическая операция, состоящая в нагреве закаленного сплава ниже температуры превращения для получения более устойчивого структурного состояния сплава. В зависимости от температуры нагрева отпуск бывает низкий, средний и высокий. При **н и з к о м** отпуске частично снимаются внутренние напряжения закаленных сплавов, но их структура не изменяется; при **с р е д н е м** и **в ы с о к о м** отпуске изменяется структура и частично (при среднем) или полностью (при высоком) снимаются внутренние напряжения.

Отпущенные стали имеют более высокие значения магнитной индукции и магнитной проницаемости, чем закаленные, но меньшие значения коэрцитивной силы.

Для получения однородной равновесной структуры сплавы подвергают отжигу. Отжиг - термическая операция, процесс нагрева металла, имеющего неустойчивое состояние в результате предшествовавшей термической обработки, с последующим достаточно медленным охлаждением для получения более устойчивого состояния сплава. Отжигу подвергаются стали, константан, никром и другие материалы.

1.8. Коррозия и защита от коррозии

Разрушение материала под воздействием внешней среды называется **к о р р о з и е й**.

Коррозия может понизить прочность и пластичность металлических деталей (особенно тонкостенных), ухудшить их электрические и оптические качества, привести к нарушению герметичности, изменить триботехнические характеристики.

В однородном по структуре материале коррозия протекает равномерно по всей поверхности. При неоднородной структуре материала коррозия имеет местный характер, а коррозионные поражения имеют вид пятен или точек.

Если по границам зерен концентрируются выделения с резко различными электрохимическими потенциалами, то и коррозионное разрушение развивается по границам зерен. Такая коррозия называется **м е ж з е р е н н о й** (некристаллитной) или **и н т е р к р и с т а л л и т н о й**.

Местная коррозия при той же сумме про-реагировавшего вещества более опасна, чем равномерная, так как она проникает глубоко в металл и в большой степени способствует концентрациям напряжений.

Наиболее опасная - межзеренная коррозия, резко понижающая связь между з. р. н. а. м., а также почти никогда невидимая без микроскопа.

Металлы с низкими электрохимическими потенциалами - цинк, магний, цинковые металлы - легко разрушаются; металлы с высокими потенциалами - платина, золото, серебро, медь и ее сплавы - разрушаются труднее. Если различие электрохимических потенциалов, соприкасающихся в данной среде металлов, велико, то коррозионный ток будет большим; металл с более низким электрохимическим потенциалом будет разрушаться быстрее. Скорость разрушения при прочих равных условиях будет выше, чем больше разность потенциалов соприкасающихся металлов и чем больше поверхность катодов.

Чем выше однородность структуры, тем меньше разность электрических потенциалов между отдельными з. р. н. а. м. и тем медленнее протекает коррозия.

Искажение кристаллической решетки, возникающее в наклепанных местах, повышает местный электрохимический потенциал и усиливает коррозию. Наиболее сильно корродируют максимально деформированные и наиболее нагруженные участки изделий. Скорость коррозии резко увеличивается во влажной среде и при повышении температуры.

Основные меры предупреждения и задержания развития коррозии:

1. Изменение состава сплава путем введения легирующих элементов, повышающих их коррозионную стойкость (например, введение хрома более 12% в сталь) или удаление из металла вредных примесей.

2. Изменение состава окружающей среды, которое применяют при ограниченном объеме коррозионной среды. Например, при длительном хранении и транспортировке радиооборудования и многих приборов их помещают в хлорвиниловый чехол, снабженный патроном, поглощающим влагу - обычно из силикагеля.

3. Конструктивные и технологические меры, применяемые для исключения неблагоприятных контактов материалов с большой разностью электрохимических потенциалов.

4. Нанесение металлических и неметаллических покрытий. Анодные металлические покрытия, электрохимический потенциал которых ниже, чем потенциал основного материала, создают не только механическую, но и электрохимическую защиту. При нарушении такого покрытия и попадании в это место коррозионной среды основной материал не разрушается, так как служит катодом. Скорость разрушения покрытия будет незначительной, потому что катодная поверхность по сравнению с анодной окажется небольшой.

Катодные металлические покрытия, потенциал которых выше, чем у основного материала, не создают прочной защиты: в случае повреждения покрытия основной металл, являющийся анодом, начинает разрушаться. Коррозия в этом случае распространяется вглубь с большой скоростью, так как поверхность катода большая, а анода - незначительная. Таким образом, катодные покрытия осуществляют лишь механическую защиту.

5. Применение ингибиторов - веществ, тормозящих развитие коррозии этих процессов. Приборы при хранении и транспортировке, защищая от коррозии, помещают в чехль; внутри некоторых приборов помещают небольшие количества летучих ингибиторов - соединений из класса аминов. Часто ингибитором пропитывают оберточную бумагу.

2. КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

2.1. Железоуглеродистые сплавы

Основными конструктивными материалами в приборном и электрооборудовании являются железоуглеродистые сплавы.

В системе железо-углерод находятся два сплава: сталь и чугун. В большинстве случаев применение находит сталь.

Сталь - это сплав железа с углеродом (менее 2,14%). Минимальное количество углерода находится в числе железа, которое может находиться в двух модификациях - $Fe\alpha$ (о.ц.к. - объемно-центрированная кубическая решетка) и $Fe\gamma$ (г.ц.к. - гранецентрированная кубическая решетка). Температура плавления железа 1539 С. Выше температуры 912 С существует $Fe\gamma$, а ниже - $Fe\alpha$. При 768 С железо испытывает магнитное превращение; выше 768 С оно становится немагнитным.

Железо со многими элементами образует растворы: с металлами - растворы замещения, с углеродом, азотом и водородом - растворы внедрения.

Твердый раствор углерода и других элементов в α -железе называется ферритом, а в γ -железе - аустенитом.

Растворимость углерода в феррите ничтожно мала (менее 0,02%) и в сто раз больше (до 2,11%) в γ -железе. Железо с углеродом может образовывать химическое соединение Fe_3C , называемое цементит, который обладает высокой твердостью и хрупкостью. С увеличением содержания углерода в стали: пластичность ее снижается, а прочность, твердость и хрупкость - возрастают.

В зависимости от группы стали маркируются буквами Ст, МСт, КСт, БСт, ВСт, за которыми стоят цифры 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, обозначающие десятые доли процента углерода. Например, Ст3 содержит 0,3% углерода. Это, так называемые мало- и среднеуглеродистые стали. Высокоуглеродистые стали маркируются буквой У. Например, У8, содержащая 0,8% С.

2.2. Легированные стали

Для получения необходимых физико-механических, электрических, магнитных и других свойств, в сталь вводят легирующие элементы. Эти стали называются легированными (иногда их называют специальными).

Каждый легирующий элемент обозначается буквой: Н - никель; Х - хром; К - кобальт, М - молибден; Г - марганец; Д - медь; Р - бор; Б - ниобий; Ц - цирконий; С - кремний; П - фосфор; Ч - редкоземельные металлы; В - вольфрам; Т - титан; А - азот; Ф - ванадий; К - алюминий.

Первые цифры в обозначении показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Цифры, идущие после буквы, указывают на примерное содержание данного легирующего элемента (при содержании элемента менее

1% цифра отсутствует; при содержании около 1% стоит цифра 1, около 2% - цифра 2 и т.д).

Для того, чтобы показать, что в стали присутствует ограниченное содержание серы и фосфора ($S < 0,03\%$; $P < 0,03\%$, а также, что соблюдены все условия металлургического производства высококачественной стали, в конце обозначения марки ставят букву А.

Следовательно сталь марки 30ХГСА имеет следующий состав: 0,28-0,35% С, 0,8-1,13% Cr, 0,9-1,2% Mn, 0,8-1,2% Si, $S < 0,03\%$, $P < 0,03\%$.

Легированные стали используют в качестве как конструкционных, так и магнитотвердых материалов.

К пружинным сталям относятся следующие марки: 30ХГС, Ст35, Ст70, 65Г, 50С, 55С2, 55СГ, 60СГ и др.

Из шарикоподшипниковых сталей применяют ШХ15 и ШХ15Г.

Среди коррозионностойких сталей наибольшее распространение получили хромистые нержавеющие стали (0Х13, 1Х13, 2Х13 и др.) и хромоникелевые, содержащие 12% Cr и 10% Ni (08Х18Н10, 08Х18Н10Т и др.).

2.3. Сплавы на основе алюминия, магния и титана

Кроме углеродистых и легированных сталей в качестве конструкционных материалов применяют сплавы на основе алюминия, магния и титана.

Алюминиевые сплавы классифицируют на литейные и деформируемые. Последние подразделяются на упрочняемые термической обработкой и не упрочняемые термической обработкой.

К группе сплавов, не упрочняемых термической обработкой, относятся сплавы системы $Al - Mn$ (так называемые сплавы AMc) и $Al - Mg$ (сплавы AMg). Эти сплавы прочнее, чем чистый алюминий. К ним относятся сплавы $AMc2$, $AMg2$, $AMg3$ и др.

Наиболее распространенным алюминиевым сплавом группы деформируемых сплавов, упрочняемых термической обработкой, является дюралюминий. Он содержит около 4% Cu и 0,5% Mg , а также небольшое количество марганца, железа и кремния. Последние два элемента являются постоянными примесями. Основные марки дюралюминиевых сплавов: Д1, Д16, Д16М, Д16Т, Д129. В последние годы промышленность выпускает дюралюминий, легированный литием, цирконием или скандием. Это сплавы 1570, 1571, 1573, 1340, 1341 и др.

Для поковок и штамповок применяют ковочные сплавы АК1, АК4, АК6, АК8 и др.

Из литейных сплавов широкое распространение получили $Al - Si$ системы. Они обладают высокими литейными свойствами. К ним относятся сплавы АЛ2, АЛ3, АЛ4, АЛ5, АЛ6, АЛ7, АЛ8, АЛ9, АЛ11, АЛ12 и др.

Магниевые сплавы, как и алюминиевые, подразделяют на деформируемые и литейные (первые маркируются буквами МА, вторые - МЛ). К ним относятся сплавы МА1, МА2, МА5, МА10, МА11; МЛ2, МЛ3, МЛ4, МЛ5, МЛ6, МЛ10, МЛ12. Эти сплавы обладают высокой удельной прочностью, так как имеют очень низкую плотность (около 1,8 г/см³). Недостатком магниевых сплавов является их низкая коррозионная стойкость.

Одними из перспективных конструкционных материалов являются сплавы на основе титана.

Титан, имеющий плотность $4,5 \text{ г/см}^3$ и температуру плавления 1972°С , имеет две аллотропические модификации: α - низкотемпературную с плотноупакованной гексагональной решеткой и β - высокотемпературную с кубической объемноцентрированной решеткой.

Титан получают методом Кролля. Из титановых руд выплавляют титановую губку, после переплава которой получают технический титан или легируют разными элементами, получая тот или иной титановый сплав. Технический титан - технологический материал. Он хорошо штампуются, сваривается. Основные марки титана: BT1-0, BT1-00.

Титановые сплавы классифицируются по структуре, которую они получают после охлаждения на воздухе (нормализация) и соответственно с этим, сплавы разделяют на: α - сплавы, α - псевдосплавы, β - сплавы, β - псевдосплавы, $\alpha + \beta$ - сплавы и $\alpha + \beta$ - псевдосплавы.

Применение находят сплавы марок BT1, OT4, BT5, BT6, BT8, PT14, BT15, BT22 и др.

Титановые сплавы обладают высокой удельной прочностью и коррозионной стойкостью.

2.4. Пластмассы

Пластические массы (пластмассы) - это синтетические многокомпонентные твердые материалы органического происхождения. В зависимости от функций вещества, введенные в пластмассы, называют связующими, наполнителями, пластификаторами, стабилизаторами, отвердителями, красителями, порообразователями и др.

Связующие - это полимеры или олигомеры, назначение которых состоит в про-

питке и обволакивании наполнителей и в монолитном соединении всех компонентов в пластмассовом изделии. Состав и свойства связующего во многом определяют свойства пластмасс.

В зависимости от природы связующего вещества пластмассы органического происхождения подразделяют на четыре класса:

- полимеры, получаемые цепной полимеризацией (полиэтилен, полистирол, поливинилхлорид, фторопласт, акрилопласты, полиуретан);

- полимеры, получаемые поликонденсацией и ступенчатой полимеризацией (фенопласты, или феноло-альдегидные пластики, амидопласты, полиамиды, эпоксидные смолы, кремнийорганические смолы);

- природные химически модифицированные полимеры (нитроцеллюлоза, ацетилцеллюлоза, этилцеллюлоза);

- битумно-асфальтные пластмассы.

Наполнители - химически инертные вещества, вводимые в полимеры для их упрочнения и придания им необходимых физико-механических свойств, а также с целью уменьшения стоимости и расхода полимерного материала. Обычно в пластмассах содержится 40-70% наполнителей

Наполнителями могут быть как органические, так и неорганические материалы. По внешним признакам их делят на три группы:

порошкообразные (древесная и кварцевая мука, опилки, слюда, порошки металлов); **волокнистые** (асбестовое, стекловатное, хлопчатобумажное и синтетическое волокно); **листовые** (или листовые)

(бумага, хлопчатобумажные, синтетические, стеклянные ткани, металлическая фольга, проволочная сетка, древесный шпон, древесные стружка).

Наполнители не только увеличивают механическую прочность полимеров, но и повышают нагревостойкость, радиационную стойкость.

Пластификаторы - густые маслообразные синтетические жидкости, вводимые в пластмассы для снижения хрупкости и повышения холодостойкости.

Стабилизаторы - вещества, вводимые в пластмассы для повышения стойкости к свету и нагреву.

Отвердители - вещества, вводимые в некоторые пластмассы с целью развития процессов их отверждения. Основой этих процессов являются реакции полимеризации и поликонденсации.

Красители - вещества, придающие пластмассовым изделиям равномерную окраску и повышение их стойкости к свету.

Смазывающие вещества (стеарин, олеиновая кислота) вводятся в пластмассы для лучшего отделения от поверхности стальной пресс-формы отпрессованного изделия.

Порообразователи - вещества, которые при нагревании выделяют большое количество газов, создающих пористую структуру в газонаполненных пластмассовых изделиях.

Исходными материалами для изготовления пластмассовых изделий являются пресс-порошки. Частицы этих порошков содержат все компоненты пластмасс. Методом горячего или холодного прессования из пресс-порошков изготавливают

пластмассовые изделия радиотехнического и конструкционного назначения (корпуса, ручки, кнопки, рычаги, платы и др.).

Большинство пластмассовых изделий изготавливают методом горячего прессования при 130-180 С. Некоторые пластмассовые изделия могут быть изготовлены холодным прессованием, т.е. при температуре пресс-порошка и пресс-формы 20°C.

Газонаполненные пластмассы (пенопласты и поропласты) используются в различного рода конструкциях (излучатели, обтекатели антенн и др.).

3. ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

3.1. Свойства диэлектриков

Диэлектрические материалы характеризуются следующими электрическими свойствами: диэлектрической проницаемостью, удельным объемным и удельным поверхностным электросопротивлением, тангенсом угла диэлектрических потерь и электрической прочностью.

3.1.1. Поляризация диэлектриков

Поляризация - это направленное, но ограниченное смещение связанных зарядов в диэлектрике под воздействием электрического поля. Степень поляризации характеризует относительная диэлектрическая проницаемость, которая показывает, во сколько раз емкость конденсатора с диэлектриком больше, чем емкость конденсатора с вакуумом или воздухом в зазоре.

По типу зарядов различают: электронную, ионную и дипольную поляризации.

Электронная поляризация - это упругое смещение или деформация электронных оболочек относительно положительно заряженного ядра. Время установления электронной поляризации $10^{-14} \dots 10^{-13}$ с, поэтому ее условно считают мгновенной. Электронная поляризация наблюдается у всех видов диэлектриков.

Ионная поляризация - это упругое смещение разноименно заряженных ионов относительно положения равновесия. Время установления этой поляризации составляет $10^{-13} \dots 10^{-14}$ с. Она наблюдается в ионных кристаллах.

Дипольная поляризация - ориентация диполей во внешнем поле. Время ее установления $10^{-6} \dots 10^{-12}$ с. Дипольная поляризация наблюдается в твердых и жидких диэлектриках.

В твердых телах неоднородной структуры наблюдается **миграционная поляризация**. Это накопление зарядов на границе раздела неоднородностей. Время установления этой поляризации 10^{-3} с.

Поляризация может происходить с затратами энергии внешнего поля и без затрат.

Упругие виды поляризации - электронная и ионная - происходят без затрат энергии. Релаксационные поляризации - дипольная и миграционная - происходят с затратами энергии.

Поляризация диэлектриков зависит от температуры, частоты электрического поля, давления, влажности.

Зависимость диэлектрической проницаемости диэлектриков от температуры показана на рис. 3.1, а.

Электронная поляризация диэлектриков от

температуры практически не зависит, она уменьшается на фазовых переходах из-за увеличения объема диэлектрика, что приводит к снижению концентрации электронов.

Ионная поляризация диэлектриков при нагреве увеличивается, так как химические связи между ионами уменьшаются, что вызывает большее смещение ионов.

Дипольная поляризация с повышением температуры сначала, аналогично ионной, увеличивается, а затем уменьшается, так как при дальнейшем повышении температуры тепловое хаотическое движение диполей разрушает ориентацию диполей, созданную полем.

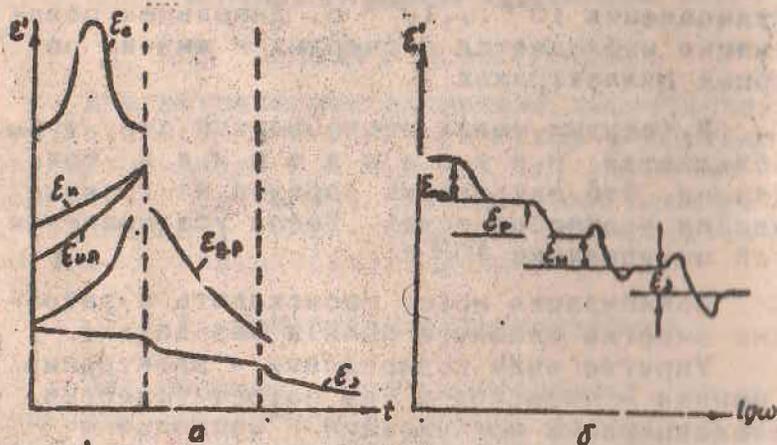


Рис. 3.1. Зависимость диэлектрической проницаемости от температуры диэлектрика (а) и частоты электрического поля (б): при электронной поляризации ϵ_e ; при ионной безгистерезисной поляризации $\epsilon_{и}$; при дипольной или ионорелаксационной поляризации $\epsilon_{д.р}$, $\epsilon_{и.р}$; при спонтанной поляризации ϵ_c

Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты электрического поля показана на рис. 3,б. Каждый вид поляризации характеризуется своим временем установления поляризации, а переменное поле - величиной периода его изменения. Зависимость поляризации от частоты поля определяется соотношением времени установления поляризации и полупериодом внешнего поля.

Если время установления поляризации меньше полупериода, поляризация успевает установиться, т.е. не зависит от частоты. Если время установления поляризации больше ее полупериода поляризация не успевает произойти, поэтому отсутствует. Если время установления поляризации соизмеримо с полупериодом, происходят переходные процессы, при которых поляризация либо монотонно уменьшается (миграционная, дипольная), либо уменьшается через резонанс (ионная, электронная).

С повышением давления увеличивается количество частиц в объеме материала, поэтому поляризация увеличивается.

С увеличением влажности диэлектрическая проницаемость смачиваемых диэлектриков увеличивается, так как диэлектрическая проницаемость воды равна 80.

3.1.2. Электропроводность диэлектриков

Материалы характеризуются электропроводностью. Электропроводность - свойство вещества проводить под действием электрического поля электрический ток. Электропроводность оценивается такими параметрами, как удельная проводимость и удельное электрическое сопротивление. К диэлектрикам относятся материалы со значениями удельного сопротивления более 10^8 Ом·м.

В диэлектриках под действием электрического поля возникает два тока: ток сквозной проводимости и ток абсорбции.

Наличие в технических диэлектриках небольшого числа свободных зарядов приводит к возникновению малых по величине сквозных токов.

Токи абсорбции обусловлены смещением связанных зарядов, т.е. поляризацией. При постоянном напряжении абсорбционные токи, меняя свое направление, протекают только в моменты включения и выключения напряжения. При переменном напряжении они имеют место в течение всего времени нахождения материала в электрическом поле.

Полная плотность тока в диэлектрике, называемая током утечки, равна сумме плотностей токов абсорбции и сквозного. После завершения процессов поляризации через диэлектрик протекает только сквозной ток (рис. 3.2). Проводимость диэлектрика при постоянном напряжении определяется по сквозному току. При переменном напряжении активная проводимость определяется по сквозному току и по активным составляющим абсорбционных токов.

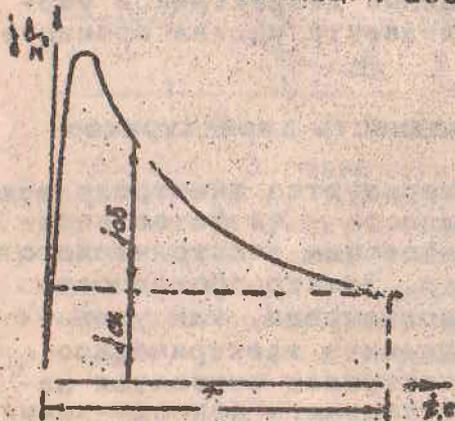


Рис. 3.2. Зависимость тока, протекающего через диэлектрик, от времени: $j_{скв}$ - сквозной ток; $j_{абс}$ - ток абсорбции; $t_{абс}$ - время существования абсорбционного тока

Носителями заряда в диэлектриках в основном являются ионы, так как энергия диссоциации - энергия, необходимая для распада молекулы на ионы, намного меньше, чем энергия ионизации - энергия, необходимая для отрыва электрона от молекулы.

Удельная электропроводность пропорциональна концентрации носителей заряда и их подвижности. Повышение температуры вызывает увеличение концентрации свободных носителей заряда и их подвижности, поэтому с повышением температуры электропроводность диэлектриков возрастает, а сопротивление соответственно уменьшается.

Наличие примесей в диэлектрике увеличивает количество носителей заряда, а следовательно, увеличивает и проводимость.

Для твердых электроизоляционных материалов необходимо различать объемную и поверхностную проводимость, для сравнительной оценки которых пользуются значениями удельного объемного и удельного поверхностного сопротивления. О проводимости диэлектрика судят по сопротивлению постоянному току. Ток утечки измеряют через одну минуту после включения напряжения, чтобы исключить влияние абсорбционных токов.

Влияние влажности на электропроводность диэлектриков определяется характером взаимодействия материала с полярными молекулами воды. Вода является источником ионов и способствует диссоциации примесей. Удельная поверхностная электропроводность увеличивается с повышением влажности у полярных диэлектриков, поверхность которых смачивается водой, а также у тех, на поверхности которых образуется пленка электролита. Повышение

удельной объемной электропроводности под влиянием влажности наблюдается у пористых материалов, наиболее заметное - у диэлектриков, содержащих растворимые в воде примеси.

Электропроводность жидких неполярных диэлектриков обусловлена диссоциацией примесных молекул. Поэтому очищенные от примесей неполярные жидкости обладают низкой проводимостью. Электропроводность жидких полярных диэлектриков обусловлена диссоциацией и присутствием собственных молекул, поэтому их электропроводность больше, чем у неполярных. Возрастание диэлектрической проницаемости приводит к росту проводимости. Поэтому высокополярные жидкости рассматриваются как проводники с ионной проводимостью.

Электропроводность газообразных диэлектриков обусловлена процессами ионизации газа под действием внешних ионизирующих факторов (излучение, термическое воздействие) или электрического поля (область сильных полей).

3.1.3. Диэлектрические потери

Диэлектрическими потерями называют мощность, рассеиваемую в диэлектрике при воздействии на него электрического поля и вызывающую нагрев диэлектрика. Величина потерь зависит от характера электрического поля и свойств материала.

На постоянном токе $P = U^2/R$, где P - потери; U - напряжение электрического поля; R - сопротивление диэлектрика.

На переменном токе для участка изоляции $P = U^2 \omega \epsilon \tan \delta$, где C - емкость изоляции; ω - частота; δ - электрических потерь, который дополняет до 90° угол сдвига фаз φ между током и напряжением в емкостной цепи диэлектрика.

По физической природе различают виды потерь: сквозной проводимости, релаксационные, ионизационные и резонансные.

Потери сквозной проводимости - это затраты энергии внешнего электрического поля на движение свободных носителей заряда. С ростом температуры количество свободных носителей растет по экспоненте. следовательно, так же изменяются и потери. При высоких температурах эти потери преобладают над всеми остальными и вызывают сильный нагрев диэлектрика, что может привести к его тепловому разрушению. Потери сквозной проводимости наблюдаются у всех диэлектриков, от частоты электрического поля они не зависят.

Релаксационные потери обусловлены релаксационными видами поляризации. С ростом температуры потери увеличиваются, так как усиливается поляризация. При дальнейшем повышении температуры, потери уменьшаются; так тепловое хаотическое движение разрушает поляризацию. Релаксационные потери также зависят от частоты. Частотная зависимость релаксационных потерь определяется влиянием частоты на поляризацию. При очень низких и очень высоких частотах потери незначительны. Максимальные потери соответствуют переходным процессам.

Релаксационные потери наблюдаются у полярных твердых и жидких диэлектриков, а также у ионных кристаллов с неплотной упаковкой ионов.

Ионизационные потери характерны для диэлектриков в газообразном состоянии и обусловлены ионизацией нейтральных молекул.

Резонансные потери наблюдаются на сверхвысоких частотах, когда частота внешнего

электрического поля совпадает с одной из частот вращательно-колебательного спектра молекул диэлектрика.

3.1.4. Пробой диэлектриков

Все диэлектрики сохраняют свои электроизоляционные свойства только до определенного значения напряженности электрического поля, после чего происходит пробой.

П р о б о й - это потеря изоляционных свойств в результате образования в диэлектрике проводящего канала под действием электрического поля.

Минимальное приложенное к диэлектрику напряжение, приводящее к его пробоям, называется пробивным напряжением, а минимальная напряженность - электрической прочностью. Электрическая прочность σ определяется пробивным напряжением, отнесенным к толщине диэлектрика в месте пробоя:

$$E_{пр} = \frac{U_{пр}}{h},$$

где h - толщина диэлектрика.

Рабочее напряжение изоляции должно быть меньше пробивного напряжения. Величину, равную отношению пробивного напряжения к рабочему, называют коэффициентом запаса электрической прочности. Обычно он выбирается 1,5... 4. Значение электрической прочности зависит от времени приложения напряжения. Продолжительное воздействие электрического поля высокой напряженности на диэлектрик приводит к электрическому старению, в результате которого увеличивается ток сквозной проводимости, при этом напряженность пробоя снижается. Поэтому срок службы изоляции ограничен.

В большинстве электротехнических уст-

ройств газообразные диэлектрики и являются изолирующей средой. В газе всегда имеется небольшое количество свободных зарядов, образующихся под действием ионизирующих факторов: излучение, термическое воздействие. Под действием электрического поля свободные заряды приобретают направленное движение и дополнительную энергию. Если энергия электрона становится равной или больше энергии ионизации нейтральной молекулы газа, происходит ионизация молекулы: образуется новый электрон и положительный ион.

Образованные заряженные частицы ускоряются электрическим полем и ионизируют другие молекулы, создавая сплошной поток ионизованного газа, т.е. электропроводящий канал.

Электрическая прочность газа зависит от степени однородности поля, расстояния между электродами, частоты электрического поля, давления газа, его влажности и температуры.

Электрическая прочность неоднородного поля меньше, чем однородного, так как при прочих равных условиях напряженность поля вблизи острого электрода быстрее достигает критического значения. При этом у острия образуется объемный положительный заряд - корона, который затем перерастает в дугообразный заряд.

В неоднородном поле электрическая прочность зависит от полярности электродов; при положительном конусе электрическая прочность меньше, чем при отрицательном, но при условии, что процессы ударной ионизации преобладают над холодной эмиссией электронов из электрода.

Электрическая прочность газов в однородном поле зависит от расстояния между электродами (рис. 3.3).

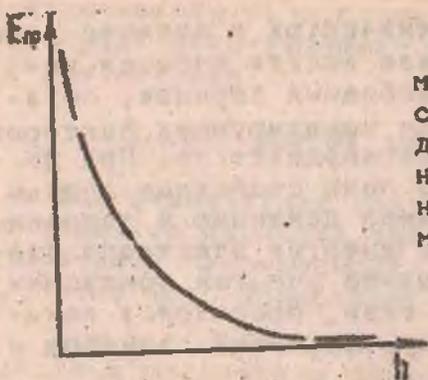


Рис. 3.3. Зависимость электрической прочности воздуха $E_{гр}$ в однородном поле от расстояния между электродами h

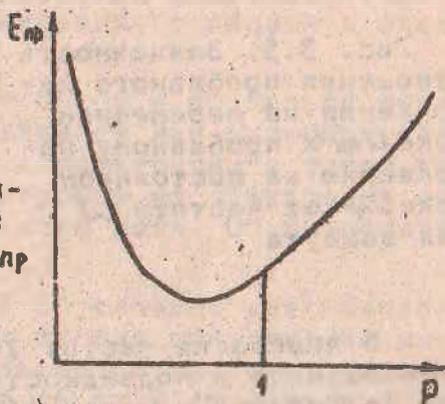
При малых расстояниях между электродами электрическая прочность увеличивается, что объясняется трудностью формирования разряда, так как электрон, длина свободного пробега которого соизмерима с расстоянием между электродами, проскакивает промежуток между электродами, не успев ионизировать достаточное количество нейтральных молекул. С увеличением расстояния условия ионизации облегчаются и электрическая прочность уменьшается.

Электрическая прочность газа зависит от давления (рис. 3.4). Увеличение давления более одной атмосферы (0,1 МПа) приводит к уменьшению длины свободного пробега электронов в газе и, соответственно, к уменьшению энергии электронов, в результате чего напряженность электрического поля, необходимая для ионизации газа, увеличивается.

При уменьшении давления вначале наблюдается падение электрической прочности, когда же давление доходит до некоторого предела (ниже атмосферного давления) и разрежение достигает высоких степеней, электрическая прочность снова возрастает. Это объясняется

уменьшением числа молекул газа в единице объема и снижением вероятности столкновений электронов с молекулами.

Рис. 3.4. Зависимость электрической прочности воздуха $E_{пр}$ от давления p



При высоком вакууме пробой объясняется явлением вырывания электронов из поверхности электродов (холодная эмиссия). В этом случае электрическая прочность велика и зависит от материала и состояния электродов.

Снижение электрической прочности воздуха при давлении не менее 0,1 МПа следует учитывать при работе авиационных приборов, так как на высоте 15 км электрическая прочность может уменьшаться в три-четыре раза.

Высокая прочность вакуума и повышенных давлений используется в производстве высоковольтных кабелей и конденсаторов.

Зависимость отношения пробивного напряжения на переменном токе к пробивному напряжению на постоянном токе от частоты поля для газа показана на рис. 3.5. При небольших частотах пробивное напряжение на постоянном и переменном токах одинаковы, так как процессы ударной ионизации успевают развиваться за полупериод изменения поля.

Рис. 3.5. Зависимость отношения пробивного напряжения на переменном токе $U_{пр\omega}$ к пробивному напряжению на постоянном токе $U_{пр}$ от частоты ω для воздуха



В диапазоне частот $10^4 \dots 10^6$ Гц сказывается разница в подвижности электронов и ионов, в результате чего образуются объемные заряды, приводящие к неоднородности электрического поля, а следовательно, и к уменьшению напряжения пробоя. При дальнейшем увеличении частоты процессы ударной ионизации не успевают разгладиться за полупериод изменения поля, поэтому напряжение пробоя возрастает.

Повышение влажности и температуры снижает электрическую прочность газов.

Электрическая прочность жидких диэлектриков больше, чем газов в нормальных условиях. Это объясняется меньшим значением длины свободного пробега в более плотной среде. Пробой чистых жидких диэлектриков обусловлен двумя основными процессами — ударной ионизацией и холодной эмиссией с катода. Технически чистые жидкости всегда содержат примеси воды, газа, твердые частицы, которые облегчают пробой. Электроизоляционные свойства как жидких, так и газообразных диэлектриков после пробоя восстанавливаются, так как благо-

даря тепловому движению молекул канал пробоя разрушается.

В твердых диэлектриках различают три вида пробоя: электрический, тепловой и электрохимический.

Электрический пробой обусловлен ударной ионизацией или разрывом связей между частицами диэлектрика, а также холодной эмиссией электронов из электродов под действием электрического поля. Он происходит за $10^{-6} \dots 10^{-8}$ с.

Тепловой пробой обусловлен увеличением количества носителей заряда при нагреве диэлектрика, когда количество теплоты, выделяющейся в диэлектрике за счет диэлектрических потерь, превышает количество теплоты, отводимой от него.

Электрохимический пробой обусловлен развитием под действием электрического поля и выделяемого в диэлектрике тепла химических процессов, ведущих к образованию подвижных ионов.

К механическим свойствам диэлектриков относятся прочность при растяжении, сжатии и изгибе, хрупкость и вязкость.

Тепловые свойства диэлектриков - это нагревостойкость, холодостойкость, теплопроводность и тепловое расширение. Нагревостойкость - способность диэлектрика выдерживать воздействие повышенной температуры в течение времени, сравнимого со сроком нормальной эксплуатации, без недопустимого ухудшения его свойств. Она оценивается наибольшей допустимой рабочей температурой.

Способность материалов сохранять свои электрические и механические свойства под

воздействием излучений высокой энергии характеризует радиационная стойкость.

3.2. Диэлектрические материалы

По функциям, выполняемым в приборах и аппаратуре, диэлектрики подразделяют на электроизоляционные и конденсаторные материалы. (пассивные диэлектрики) и управляемые материалы (активные диэлектрики).

По агрегатному состоянию различают газообразные, жидкие и твердые диэлектрики; по химической природе - органические и неорганические.

3.2.1. Газообразные диэлектрики

К свойствам газообразных диэлектриков относятся высокое удельное электросопротивление, малый тангенс угла диэлектрических потерь, изоляционная способность самовосстанавливаться после пробоя. Газы, молекулы которых центральны, являются диэлектриками. К ним относятся воздух, азот, углекислый газ, водород, электротехнический газ, пары фторорганических жидкостей, инертные газы. Инертные газы имеют высокую электрическую прочность, поэтому их применяют в газоразрядных приборах, источниках света.

3.2.2. Жидкие диэлектрики

Различают три вида жидких диэлектриков:

- нефтяные (минеральные) масла: трансформаторное, конденсаторное и кабельное;

- синтетические жидкости: совол, совтол, гексол, кремний- и фторорганические жидкости и др.;

- растительные масла: льняное, тунговое, касторовое.

Трансформаторное масло применяют для заливки силовых трансформаторов для повышения электрической прочности изоляции и улучшения отвода тепла, выделяющегося в обмотках и сердечнике. Трансформаторное масло подвержено старению.

Конденсаторное масло применяют для пропитки конденсаторов, что повышает диэлектрическую проницаемость и электрическую прочность и дает возможность уменьшить габариты конденсатора.

Кабельное масло используют в производстве силовых кабелей для повышения электрической прочности и теплоотвода.

Совол применяют для пропитки конденсаторов; совол и фтороорганические жидкости не горючи и применяются для заливки трансформаторов.

Льняное и тунговое масло (высыхающие) применяют для изготовления лаков, лакотканей, для пропитки; касторовое (невсыхающее) - для пропитки и заливки.

3.2.3. Твердые органические диэлектрики

Органическими веществами называют соединения углерода с другими элементами. В основном применяются твердые диэлектрики, являющиеся высокомолекулярными соединениями, молекулы которых содержат большое количество, иногда тысячи, атомов.

К органическим твердым диэлектрикам относятся смолы, лаки и компаунды, воскобразные диэлектрики, гибкие пленки, волокнистые материалы, пластмассы, эластомеры.

Органические материалы, размягчающиеся при повышенных температурах, называются термопластичными.

Неполярные и слабополярные термопласты (полиэтилен, полистирол, фторопласт-4) обладают большим удельным объемным и поверхностным сопротивлением, малыми потерями энергии, высокой влагостойкостью; их электроизоляционные свойства мало изменяются с температурой и частотой. Поэтому они являются высокочастотными диэлектриками.

Полярные термопласты (поликрилаты, полиамидные и полнуретановые смолы, полихлорвинил) обладают более высокими потерями энергии, свойства их изменяются с температурой и частотой, поэтому они являются низкочастотными диэлектриками.

Органические материалы, которые при нагревании химически разрушаются (обугливаются, сгорают), называются термоактивными. Они более нагревостойкие, твердые, хрупкие, чем термопластичные полимеры. Это бакелитовые, глифталевые, эпоксидные, кремний-органические и другие смолы. Их применяют для изготовления электроизоляционных лаков, компаундов, пластмасс.

Воскообразные материалы - это твердые легкоплавкие вещества, обладающие низкой механической прочностью, малыми потерями и малой гигроскопичностью. Это парафин и церезин; их применяют для заливки и пропитки изоляции.

Лаки - это коллоидные растворы смол, битумов высыхающих масел в летучих растворителях. В зависимости от предназначения они могут быть пропиточные, покрывные и клеящие. Лаки повышают механическую и электрическую прочность, сопротивление и влагостойкость изоляции.

Клеящие лаки должны также обеспечивать высокую адгезию к склеиваемым материалам.

Компаунды - смеси полимеров (бцгумов, смол, воскообразных масел) иногда с добавками минеральных наполнителей (стекловолокно, порошок слюды, кварца). Компаунды в расплавленном виде применяют для заливки или пропитки изоляции для повышения ее электрической и механической прочности, термостойкости, влагостойкости, теплопроводности. Следует иметь в виду, что заливка термодобивными компаундами практически исключает возможность ремонта деталей или приборов в случае их повреждения.

Волокнистые материалы состоят из волокон:

- природные (хлопчатобумажные, целлюлозные, натуральный шелк);
- искусственных (вискозный и ацетатный шелк, получаемые из эфиров целлюлозы);
- синтетических (капрон, нейлон, лавсан, изготавливаемые из синтетических полимеров).

К волокнистым материалам относятся: электротехническая бумага и картон, пряжа, ткани и лакоткани. Преимущества волокнистых материалов: механическая прочность, гибкость, дешевизна, технологичность. Электроизоляционные свойства волокнистых материалов могут быть улучшены путем пропитки лаками и компаундами. Лакоткани заменяют более прогрессивными электроизоляционными материалами - гибкими пленками из синтетических полимеров.

Пластмассами называются полимеры и их смеси с другими материалами, которые при нагреве под давлением способны приобретать определенную форму. Обязательным компонентом пластмасс является связующее вещество - по-

имер. Многие пластмасы состоят только из полимеров, например: полистирол, органическое стекло.

Другим важным компонентом пластмасс является наполнитель - порошкообразные, волокнистые и слоистые вещества как органического, так и неорганического происхождения. Для повышения пластичности и облегчения обработки пластмасс вводят пластификаторы, для замедления процессов их старения - стабилизаторы.

К эластичным материалам относятся резины, основу которых составляет вулканизированный каучук. В зависимости от содержания серы резины бывают мягкие (1...3% серы) и твердые (30...35% серы). Твердая резина называется эбонитом.

Недостатком органических материалов является низкая нагревостойкость, склонность к старению, малая ударная вязкость, невысокий модуль упругости, большой коэффициент теплового расширения.

Скорость старения органических материалов увеличивается при повышении температуры, концентрации кислорода, наличии озона, под действием ультрафиолетовых лучей, электрического поля, механических нагрузок.

3.2.4. Твердые неорганические диэлектрики

Неорганические диэлектрики обладают повышенными электрическими, механическими и тепловыми свойствами по сравнению с органическими. К ним относятся стекло, керамика, слюда и материалы на ее основе.

Стекла - аморфные вещества - представляют собой сложные системы различных оксидов. Основу большинства стекол составляет оксид кремния, такие стекла называются силикатными.

Так как у стекол прочность при растяжении много меньше, чем прочность при сжатии, то внезапное внешнее охлаждение более опасно, чем внезапный нагрев.

Большинство технических стекол сильно поглощает ультрафиолетовые лучи благодаря содержанию примеси оксидов железа. Увидеть ультрафиолетовые лучи, содержащиеся в оксиде железа менее 0,22%, обладают прозрачностью для ультрафиолетовых лучей; хорошо пропускает эти лучи кварцевое стекло (100% оксида кремния), которое применяется в специальных лампах, дающих ультрафиолетовое излучение.

Стойкость к действию влаги характеризует гидролитическая стойкость стекла. Высшей гидролитической стойкостью обладает кварцевое стекло, гидролитическая стойкость уменьшается при повышении температуры, при введении в стекло щелочных оксидов.

Силикатные стекла практически стойки к действию кислот, за исключением лишь плавиковой кислоты, но малостойки к щелочам.

Электрические свойства стекол в большой степени зависят от их состава. Стекла с большим содержанием щелочных оксидов имеют значительные диэлектрические потери, повышенную диэлектрическую проницаемость. Одновременное присутствие в составе стекла двух различных щелочных оксидов увеличивает удельное электрическое сопротивление и уменьшает потери по сравнению со стеклом, содержащим только один щелочной оксид. Это явление называется нейтрализационным или полищелочным эффектом. Стекла, содержащие в больших количествах тяжелые оксиды свинца и бария, имеют низкие диэлектрические потери даже при наличии в их составе щелочных оксидов. Стекла с низкой гидролитической стойкостью об-

ладают малым поверхностным удельным сопротивлением в условиях влажной среды. Электрическая прочность стекол мало зависит от их состава и сильно зависит от наличия воздушных включений. При постоянном напряжении в однородном электрическом поле электрическая прочность стекла весьма велика и достигает 500 МВ/м.

В зависимости от назначения различают основные виды электротехнических стекол:

1. Конденсаторные стекла. Они должны иметь повышенную диэлектрическую проницаемость и малые диэлектрические потери.

2. Установочные стекла для изготовления изоляторов.

3. Ламповые стекла.

4. Стекла с наполнителем: к ним принадлежит микалекс - пластмасса из стекла и порошка слюды.

Кроме того, из стекла изготавливают стеклоэмали, волокна и ткани (тонкие стеклянные волокна обладают повышенной гибкостью), световоды.

Световоды - это жгуты, состоящие из волокон, имеющих сердцевину и оболочку из стекол разного состава, причем показатель преломления сердцевины больше показателя преломления оболочки. Световой луч испытывает полное внутреннее отражение и, многократно отражаясь, идет вдоль волокна, не выходя в окружающее пространство.

Ситаллы изготавливают путем кристаллизации стекол специального состава. В зависимости от технологии получения различают термоситаллы и фотоситаллы. Ситаллы применяют для изготовления ответственных изделий.

Помимо хороших электроизоляционных свойств они имеют высокую механическую прочность и пониженную (по сравнению со стеклами) хрупкость.

Керамика представляет собой сложную систему окислов, состоящую из аморфной и кристаллической фаз. Керамические материалы подразделяют на установочные и конденсаторные. К установочной керамике относятся фарфор и его разновидности, алюмооксид, театит. Конденсаторная керамика состоит в основном из диоксида титана.

Слюда - слоистый природный минерал. Свойства слюды: высокая электрическая прочность, нагревостойкость, влагостойкость, механическая прочность и гибкость. Существует две разновидности слюды: мусковит и флогопит.

Мусковит прозрачен, имеет повышенные электрические и механические свойства и применяется в конденсаторах. Флогопит окрашен, обладает высокой нагревостойкостью и применяется в нагревательных устройствах в качестве изоляции.

Получена синтетическая слюда - 2-торфлогопит. Она обладает более высокой химической стойкостью, нагревостойкостью, радиационной стойкостью, чем природный флогопит. Но синтетическая слюда дороже природной, получена в виде кристаллов сравнительно малых размеров и труднее расщепляется, поэтому она не может заменить природную.

На основе слюды изготавливают такие материалы, как миканиты, слюдиниты, слюдопласты, микалексы.

3.2.5. Активные диэлектрики

Активные диэлектрики - это материалы,

способные генерировать и преобразовывать электрические сигналы. К ним относятся сегнетоэлектрики, пьезоэлектрики, электреты, пироэлектрики.

Сегнетоэлектрики - это вещества с самопроизвольной поляризацией в определенном интервале температур и давлений. Изучая эти материалы, особое внимание следует уделить их строению, так как оно является причиной спонтанной поляризации и наличия особых свойств: резкой зависимости диэлектрической проницаемости от температуры, напряженности электрического поля и др.

Основные сегнетоэлектрики - это сегнетокерамика на основе титанатов бария и стронция, сегнетокерамика типа ВК-1...ВК7, которые используются для изготовления нелинейных конденсаторов - варикондов, малогабаритных конденсаторов с высокой емкостью, пьезоэлектрических преобразователей; оптически прозрачные сегнетоэлектрики применяются в квантовой электронике для управления лазерным лучом

Пьезоэлектрики - Это диэлектрики, которые поляризуются под действием механических напряжений и деформируются под действием электрического поля.

Основные пьезоэлектрики - монокристаллы кварца, кристаллы сегнетовой соли, сульфата лития, цирконаттитанат свинца и т.д. Они используются в технике для преобразователей механических колебаний в электрические сигналы (приемники ультразвука), а также для преобразователей электрических сигналов в механические колебания (генераторы ультразвука).

Пироэлектрики - это диэлектрические ма-

териалы, которые поляризуются при изменении температуры. Это турмалин, кристаллические соединения на основе лития, некоторые поляризные полимеры. Их применяют в тепловых датчиках и приемниках лучистой энергии.

Электреты - диэлектрики, способные длительно сохранять остаточную поляризацию, независимости от внешних факторов, вызывающих электретное состояние, различают термо-, фото-, радиоэлектреты. Типичные электреты фторопласт-4, лавсан, органическое стекло и др. Они используются для изготовления измерителей давления, влажности и механических вибраций, для микрофонов и телефонов.

Жидкие кристаллы - это вязкие жидкости, в которых молекулы располагаются в определенном порядке. Их оптические характеристики (прозрачность, спектральное поглощение и отражение, двойное лучепреломление) реагируют на изменение электрических и магнитных полей, температуры. Используют их в индикаторных устройствах, дисплеях, циферблатах приборов.

К материалам квантовой электроники относятся высокотемпературные монокристаллы оксидов цинка, кремния, титана, а также соединения галлия, бари, лантана с фтором, некоторые стекла и ситаллы.

В качестве жидких материалов для лазеров используют некоторые органические красители (кумарин и др.).

Лучшими оптическими свойствами обладают газовые активные среды. Преимущество газовых лазеров в том, что молекулы газа легко переводятся в возбужденное состояние под действием электрического поля. В газовых лазерах малой мощности используют гелий-неоно-

вую смесь с парами кадмия, селена, в лазерах высокой мощности - углекислый газ.

Лазер - источник оптического когерентного излучения с высокой направленностью и большой плотностью энергии. Работа лазеров заключается в практически одновременном испускании согласованных по частоте и направлению электромагнитных волн большим количеством атомов или молекул под действием внешнего электрического поля.

Лазеры применяют в оптической локации, медицине, телевидении, информационно-измерительной технике, а также в обработке оптически непрозрачных материалов - импульсной сварке, плавлении, пайке, термообработке, сверлении, резании.

4. ПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Класс проводниковых материалов включает: металлы и сплавы - проводники I рода (основные носители заряда - электроны, тип проводимости - электронный), а также электролиты и расплавы - проводники II рода (основные носители заряда - ионы, тип проводимости - ионный).

Особое место занимает сверхпроводники, обладающие бесконечно малым удельным сопротивлением при определенных внешних условиях.

4.1. Основные свойства проводников

К основным свойствам проводниковых материалов относятся:

- удельное сопротивление или величина ему обратная - удельная проводимость;
- температурный коэффициент удельного сопротивления;

- коэффициент термо-ЭДС;
- удельная теплопроводность;
- работа выхода электрона;
- механические свойства - прочность, пластичность, твердость и др.

4.2. Физический смысл сопротивления проводников

Известно, что в проводниках электропроводимости находятся в "вырожденном" состоянии, т.е. их концентрация и подвижность от температуры не зависят. Согласно представлений квантовой волновой механики электронные волны, распространяясь в кристаллической решетке материала, рассеивают энергию на ее тепловых колебаниях, дефектах и ионах примеси и тем самым создают сопротивление проводника.

4.3. Влияние различных факторов на удельное сопротивление проводников

Величина удельного сопротивления проводников зависит от температуры, наличия примесей, дефектов, а также состава строения материалов.

При нагреве чистых металлов удельное сопротивление увеличивается (температурный коэффициент удельного сопротивления положителен), потому что увеличивается рассеяние энергии электронной волной на колеблющихся в фазе атомах. В сплавах, состоящих из нескольких химических элементов, разнородные атомы колеблются в противофазе, взаимно гасят тепловые колебания и не вызывают рассеяния энергии электронной волны. Удельное сопротивление сплавов при нагреве уменьшается и тем не менее изменяется (температурный коэффициент удельного сопротивления отрицателен или равен нулю).

Примеси в проводниках всегда увеличивают удельное сопротивление, так как их ионы способствуют рассеянию энергии электронных волн.

Дефекты двойко влияют на удельное сопротивление проводников: упругое растяжение его увеличивает, упругое сжатие - уменьшает.

Пластические (необратимые) деформации всегда увеличивают удельное сопротивление проводников.

Зависимость удельного сопротивления сплавов от их состава и строения описывают диаграммы Н.С. Курнакова. Для сплавов со строением твердого раствора (компоненты сплава кристаллизуются совместно) зависимость имеет пиковый характер (рис. 4.1), для химических соединений с экстремальными точками (рис. 4.2) и линейный характер (рис. 4.3) для сплавов со строением механической смеси (компоненты при охлаждении кристаллизуются раздельно).

4.4. Сверхпроводимость

Вблизи критических температур, близких к абсолютному нулю (среда жидкого гелия), сопротивление некоторых проводников падает до нуля (рис. 4.4). Такие материалы называются сверхпроводниками, а явление - сверхпроводимость. Оно вызвано тем, что электроны проводимости объединяются в пары при условии, что их спиновые магнитные моменты антипараллельны, и беспрепятственно движутся в кристаллической решетке, не рассеивая энергии на тепловых колебаниях. Из сверхпроводящего в состояние проводимости материал может перейти при нагреве или воздействии магнитного

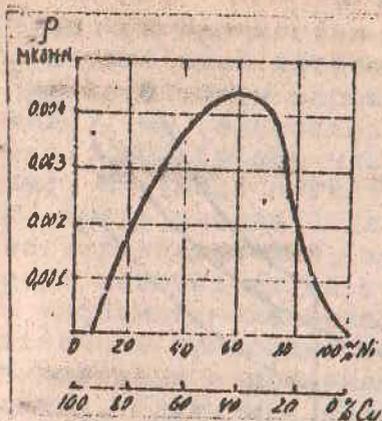


Рис. 4.1. Зависимость удельного сопротивления ρ сплавов $Cu-Ni$ от состава (металлы при сплавлении образуют твердый раствор)

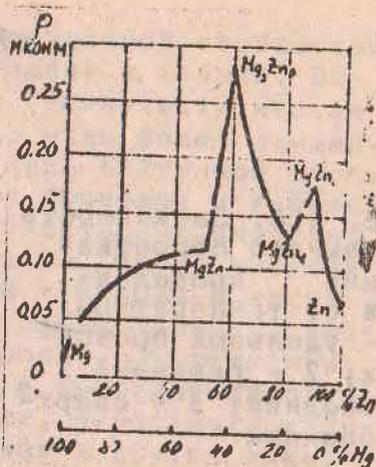


Рис. 4.2. Зависимость удельного сопротивления ρ сплавов $Zn-Mg$ от состава (металлы при сплавлении образуют химическое соединение)

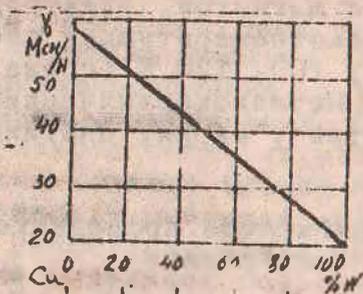
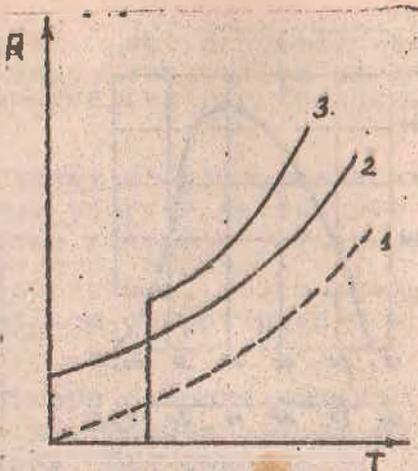


Рис. 4.3. Зависимость удельной проводимости γ сплавов $Cu-W$ от состава (металлы при сплавлении кристаллизуются отдельно)

Рис. 4.4. Зависимость удельного сопротивления проводников от температуры: 1 - удельный проводник; 2 - реальный проводник; 3 - сверхпроводник



поля с напряженностью выше критической. Различают сверхпроводники I рода с резким переходом при критической напряженности 10^5 А/м и сверхпроводники II рода с плавным переходом при $10^4 - 10^6$ А/м. К первым относятся свинец, олово, бериллий, используемые в ЗУЭВМ, ко вторым — соединения галлия (галлиды), олова (станиды) для магнитов, электродвигателей, волноводов. Высокотемпературный сверхпроводимость при 77, 100, 120 К (среда жидкого азота) обладают металлокерамические соединения на основе итрия, бария, платины и оксида меди.

4.5. Классификация проводниковых материалов

К металлам высокой проводимости относятся медь, алюминий, золото, серебро, платина, никель.

Медь с удельным сопротивлением 0,017 мк ом·м обладает высокой пластичностью, дос-

таточной прочностью, коррозионной стойкостью, относительной легкостью пайки и сварки. Выпускается пяти марок: М1 (технически чистая медь), М0 (бескислородная медь более очищенная), М00 (особо чистая медь вакуумной очистки), ММ (медь мягкая) для проводов и кабелей, МТ (медь твердая) для коллекторных пластин электродвигателей, контактов. Кроме чистой меди используют ее сплавы - бронзы и латуни, с высокими механическими свойствами при достаточной проводимости. Бронзы - кадмиевая и безилливая - применяются в токоведущих пружинах, пружинных контактах, мембранах; латуни - в штепсельных разъемах и других электротехнических изделиях.

Алюминий (удельное сопротивление $0,028 \text{ мк ом}\cdot\text{м}$) обладает высокой коррозионной стойкостью, малой плотностью, но низкой механической прочностью, выпускается нескольких марок (в зависимости от степени очистки), применяется в производстве проводов, корпусов электролитических конденсаторов, фольги.

Золото, серебро, платина - благородные металлы, коррозионностойкие, технологичные. Золото (удельное сопротивление $0,022 \text{ мк ом}\cdot\text{м}$) используют в микросхемах, термомпарах, контактах, покрытиях. Серебро (самое малое удельное сопротивление $0,016 \text{ мк ом}\cdot\text{м}$) применяют в контактах, покрытиях, в устройствах для ВЧ и СВЧ. Платина (удельное сопротивление $0,105 \text{ мк ом}\cdot\text{м}$) используется в термомпарах, термометрах сопротивления, контактах.

Никель (удельное сопротивление $0,73 \text{ мк ом}\cdot\text{м}$) - материал анодов, тепловых экранов и электровакуумной техники.

Материалы контактов. В связи с характе-

ром работы контакты могут быть неподвижными и подвижными, а последние - разъемными и скользящими. Материалы контактов должны быть износостойкими, коррозионностойкими, технологичными и создавать малое переходное сопротивление.

Неподвижные контакты бывают зажимные ("клеммы", болтовые соединения) и цельнометаллические (сварные, спаянные). При пайке используют припой и флюсы. По температуре плавления различают мягкие (до 400 °С) и твердые (выше 500 °С) припои. Мягкие припои оловянно-свинцовые соединения (ПОС), твердые - медно-цинковые (ПМЦ). Флюсы используют перед пайкой для очистки паяемых поверхностей и улучшения их смачиваемости припоем. Основные флюсы при пайке мягкими припоями - канифоль, твердые - бура, борная кислота.

Скользящие контакты (реостаты, потенциометры) выполняют из холоднотянутой меди марки МТ, бериллиевой и кадмиевой бронзы, керамического сплава серебра с оксидом кадмия.

Разрывные контакты бывают маломощные (до 100 Вт) и мощные. Для первых применяют сплавы благородных металлов - платина с осмием, иридием, палладием, а также меди с золотом, меди с серебром. Вторые выполняют из металлокерамических материалов - медь-вольфрам, медь-молибден, медь-графит, серебро-никель.

Материалы термопар. В термопарах нашли применение проводники с высоким значением коэффициента термоЭДС. Это сплавы: копель, (медь-никель), альмель (никель, алюминий и другие элементы), хромель (хром-никель), платинородий (платина-родий). Для измерения

температуры широко применяют следующие термомпары: хромель-алюмель до 1000°C , вольфрам-вольфрамений от 1000 до 2500°C , платина-платинородий до 1600°C - эталонная термомпара для градуировки других, железо-золото - для криогенных температур.

Сплавы высокого сопротивления. Резистивные сплавы должны обладать высоким удельным сопротивлением, малым коэффициентом термоЭДС, малым температурным коэффициентом удельного сопротивления. Этим требованиям удовлетворяют манганин (медь-никель-марганец) для образцовых резисторов и измерительных приборов; радиоманганин (с повышенным содержанием марганца) для компенсирующих и стабилизирующих элементов цепей, константан (медь-никель) для реостатов и эле тронагревательных элементов. Пусковые и регулировочные реостаты изготавливают из никелина (медь-никель-марганец) и нейзильбера (медь-никель-цинк). Тяжелонагруженные реостаты и нагревательные элементы выполняют из нихрома (никель-хром), ферронихрома (с повышенным содержанием железа), фехрали (железо-хром-алюминий).

Материалы микросхем. В микросхемах из проводниковых материалов выполняют токоведущие и резистивные пленочные элементы. Для токоведущих элементов применяют пленки золота, алюминия, платины, никеля. Серебро не применяют, так как оно имеет малый атомный радиус, легко проникает в подложку и закорачивает схему. Резистивные пленки выполняют из титана, тантала, хрома, рения, нихрома, некоторых сплавов, содержащих кремний, а также из керметов.

Керметы - металлodieлектрические композиции с неорганическим связующим - хром-моноксид крения, серебро, палладий - стекло.

Контакты используют для создания контакта между металлами, металлом и полупроводником. Это пасты из синтетических смол с токопроводящим наполнителем из мелкодисперсных порошков серебра, золота, палладия, никеля.

Материалы электровакуумной техники - сплавы железа с никелем, так называемые инварные сплавы, обладают малым температурным коэффициентом линейного расширения. Кроме инвара, нашли применение суперинвар (дополнительно легированный кобальтом и медью), ковар и платинит, хорошо свариваемый и спаиваемый со стеклом.

5. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

К классу полупроводниковых материалов принадлежит ряд химических элементов, расположенных во второй (бериллий), третьей (бор, галлий, индий), четвертой (углерод, кремний, германий, олово), пятой (фосфор, мышьяк, сурьма), шестой (сера, селен, теллур) и седьмой (хлор, бром и йод) группах периодической таблицы элементов Д.И. Менделеева. Кроме них к полупроводникам относятся все оксиды металлов, сульфиды, теллуриды, соединения, образованные из элементов, симметрично расположенных относительно четвертой группы таблицы Менделеева, а также некоторые органические вещества.

Удельное электросопротивление полупроводников - $10^{-5} \dots 10^8$ Ом·м занимает промежуточное положение между диэлектриками ($10^8 \dots 10^{18}$ Ом·м) и проводниками ($10^{-8} \dots 10^{-5}$ Ом·м). То же характерно и для других свойств полупроводниковых материалов. Их особенность - наличие двух типов проводимости.

5.1. Электропроводность полупроводников

В собственном (без примесей) полупроводнике электрон, которому сообщена энергия, равная или большая, чем энергия запрещенной зоны, переходит из валентной зоны в зону проводимости и осуществляет в ней электронную или n -типа проводимость. В валентной зоне образуется пустое место - дырка и его сразу занимает электрон соседнего атома, оставляя после себя дырку. Процесс повторится и в результате возникнет противоположно направленное движение электронов и дырок. Характер движения электронов в валентной зоне отличается от его движения в зоне проводимости, поэтому создаваемую и.и. проводимость условились называть дырочной или p -типа (рис. 5.1).

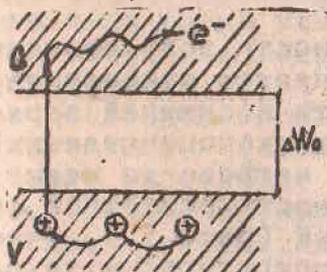


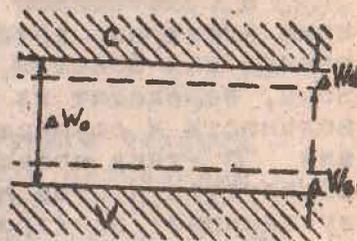
Рис. 5.1. Объяснение n и p -типа проводимости: C - зона проводимости; V - валентная зона; ΔW_0 - ширина запрещенной зоны

5.2. Примеси в полупроводнике

Тип проводимости определяют примеси. Донорные примеси или просто доноры - элементы с валентностью выше, чем у основного материала - создают электронную проводимость, акцепторные примеси (акцепторы) - элементы с валентностью ниже, чем у основного материала - дырочную проводимость. Причем, дополнительные энергетические уровни донорной примеси расположены у дна зоны

проводимости, а акцепторной примеси - у потолка валентной зоны (рис. 5.2).

Рис. 5.2. Элементарная зонная структура полупроводника: ΔW_d - энергия ионизации доноров; ΔW_a - энергия ионизации акцепторов



5.3. Влияние температуры на электропроводность полупроводников

Особенностью полупроводников является высокая чувствительность к внешним воздействиям - температуре, освещенности, электрическому и магнитному полям.

Зависимость проводимости полупроводников от температуры объясняется изменением концентрации и подвижности носителей заряда при нагреве; она имеет экспоненциальный характер (рис. 5.3). При нагреве до невысоких температур проводимость растет за счет ионизации молекул примесей (рис. 5.3, участок а-в), при высоких температурах - за счет ионизации молекул основного материала (с-д). Свойство полупроводников изменять проводимость при нагреве положено в основу работы терморезисторов и болометров. Для изготовления терморезисторов используют смеси различных оксидов, сульфидов, нитридов, карбидов. Терморезисторы применяют для измерения температуры, температурных компенсаций, стабилизации напряжения.

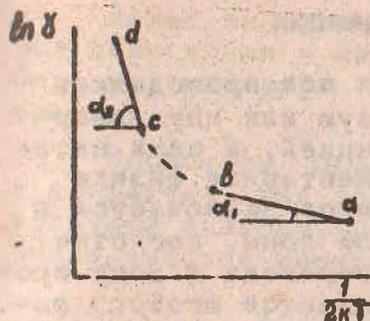


Рис. 5.3. Температурная зависимость электропроводности: ab - примесная проводимость, $\operatorname{tg} \alpha_1 = \Delta W_0 (\Delta W/d)$, cd - собственная проводимость, $\operatorname{tg} \alpha_2 = \Delta W_0$.

5.4. Влияние освещенности на электропроводность полупроводников

Проводимость полупроводников можно возбуждать не только нагревом, но и освещением. Для этого необходимо, чтобы энергия кванта света была равна или больше энергии запрещенной зоны или энергии ионизации примесей. Под действием света в полупроводнике возникает добавочная проводимость - фотопроводимость, и ток - фототок. Полупроводниковые приборы, работающие на этом явлении, называются фоторезисторами. Их применяют во многих схемах автоматики. Материалы фоторезисторов - соединения металлов - серой, сурьмой и теллуrom, так называемые халькогениды. Существует зависимость между длиной волны света и энергией запрещенной зоны полупроводника.

В длинноволновой части спектра работают полупроводники с малой энергией запрещенной зоны (халькогениды свинца) и наоборот, в коротковолновой - с большой энергией запрещенной зоны (халькогениды кадмия).

5.5. Люминесценция

Способность некоторых полупроводников светиться, поглотив световую или иную энергию, называются люминесценцией, а сами материалы - люминофорами. Элементарная физика люминесценции полупроводников заключается в том, что электрон валентной зоны, поглотив энергию, достаточную для перехода в зону проводимости, по пути захватывается особым рода "ловушкой" - примесью и излучает избыточную энергию в виде кванта света. Возбудителями свечения могут быть свет, электронные пучки, внешнее электрическое поле.

Люминофоры являются сульфид цинка, сульфид бария, сульфид кадмия, вольфрамат кальция, а "ловушками"-примесями - атомы тяжелых и благородных металлов (свинец, висмут, платина, серебро). Люминофоры используют в светящихся лаках, красках, пластмассах, экранах, стеклах.

5.6. Влияние напряженности внешнего электрического поля на электропроводность полупроводников

Способность полупроводников изменять проводимость под действием внешнего электрического поля используют в работе нелинейных резисторов, называемых варисторами.

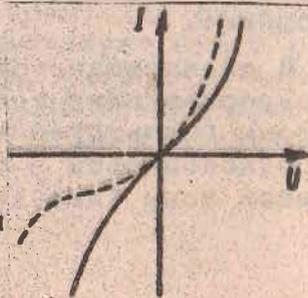


Рис. 5.4. Вольт-амперная характеристика варисторов

Вольт-амперная характеристика варисторов нелинейная и симметричная (рис. 5.4). Основной материал - порошкообразный карбид кремния.

Варисторы применяют для искрогашения в контактах, для защиты маломощной и высоковольтной аппаратуры от перегрузок, для усиления чувствительности приборов.

5.7. Эффект Холла

Объяснение зависимости проводимости полупроводника от напряженности внешнего магнитного поля дает эффект Холла. Приборы, работа которых основана на этом эффекте, называются датчиками Холла. Их используют для измерения и преобразования тока, измерения напряженности магнитного поля, модуляции сигналов. Основные материалы датчиков - арсенид галлия, германий, арсенид индия, антимонид индия, фосфид индия (антимониды - соединения с сурьмой, фосфиды - с фосфором).

5.8. Термоэлектрические явления в полупроводниках

Из термоэлектрических явлений в полупроводниках наибольшее применение получили эффект Зеебека и эффект Пельтье.

Эффект Зеебека используют в производстве термоэлектрогенераторов для питания радиоаппаратуры, эффект Пельтье - в производстве термоэлектророзохладильников для охлаждения и термостабильности радиоаппаратуры. Термоэлектрогенераторы и термоэлектророзохладильники состоят из последовательно соединенных полупроводников с различными типами проводимости: сульфида свинца, теллурида свинца с

электронной проводимостью и селенида цинка с дырочной проводимостью.

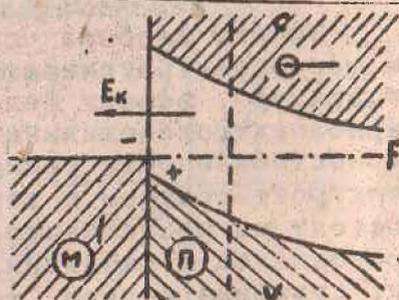
5.9. Контактные явления, p-n-переходы

Особый интерес представляют собой свойства контактов пролу проводников с диэлектриками, металлами и друг с другом. При объяснении контактных явлений оперируют понятиями "уровень Ферми" и "работа выхода электрона".

Уровень Ферми металлов - это высший уровень, полностью заполненный электронами при абсолютном нуле, уровень Ферми полупроводников - уровень с вероятностью заполнения электронами $1/2$ при тех же условиях. Положение уровня Ферми полупроводников зависит от температуры и концентрации носителей заряда.

Работа выхода электрона - энергия, необходимая для удаления электрона с уровня Ферми в свободное состояние. Разная работа выхода электрона является причиной возникновения разности потенциалов на контакте двух материалов. В приконтактной области металл-полупроводник в зависимости от соотношения работ выхода электрона обоих материалов и типа проводимости полупроводника могут возникать запирающий слой (с высоким сопротивлением), т.е. выпрямляющий контакт (рис. 5.5) и антизапирающий слой (с малым сопротивлением), т.е., невыпрямляющий контакт.

Рис. 5.5. Образование выпрямляющего контакта на границе металл-полупроводник p-типа (работа выхода электрона из металла больше, чем полупроводника); E_k - контактная разность потенциалов



Электронно-дырочный переход в приконтактной области полупроводников с разным типом проводимости имеет емкость и сопротивление, которыми можно управлять внешним полем. Это явление называют вентильным эффектом и используют в полупроводниковых выпрямителях, которые изготавливают из селена, диоксида титана, германия, кремния и т.д.

Воздействием света на электронно-дырочный переход (вентильный фотоэффект) можно преобразовывать световую энергию в электрическую. Приборы, основанные на этом явлении, называются вентильными фотоэлементами или фотодиодами (частный случай фотоэлемента - солнечная батарея). В настоящее время их делают из арсенида галлия с КПД 23%.

5.10. Некоторые полупроводниковые материалы

Германий - энергия запрещенной зоны 0,68 эВ, применяют для изготовления различных диодов, транзисторов, тиристоров, фотодиодов. Диапазон рабочих температур этих приборов от минус 60 до плюс 80 °С.

Кремний - энергия запрещенной зоны 1,12 эВ, применяют для изготовления диодов, транзисторов, тиристоров, фотодиодов, датчиков Холла, интегральных схем. Верхний предел рабочих температур приборов на кремний - плюс 200 °С.

Арсенид галлия - наиболее перспективный материал с энергией запрещенной зоны 1,4 эВ, применяется почти во всех полупроводниковых приборах с широким диапазоном рабочих температур (до 400 °С) и частот 10^{11} Гц).

6. МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Движение электрона вокруг ядра образует орбитальный магнитный момент, а в результате вращения электрона вокруг собственной оси - спиновый магнитный момент. Результирующий магнитный момент атома - векторная сумма спиновых моментов всех электронов. Магнитные свойства материала характеризует величина суммарного магнитного момента всех атомов в единице объема - намагниченность (J), в слабых полях пропорциональная напряженность внешнего магнитного поля (H): $J = \chi H$, где χ - магнитная восприимчивость.

По величине и знаку магнитной восприимчивости все материалы подразделяются на диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики, ферримагнетики и антиферромагнетики.

У диамагнетиков (золото, серебро, медь, цинк, кремний, германий и др.) магнитная восприимчивость очень мала ($\sim 10^{-5}$), ниже нуля и не зависит от температуры.

У парамагнетиков (алюминий, платина, кислород, щелочные металлы) магнитная восприимчивость порядка $10^{-2} \dots 10^{-3}$, больше нуля и слабо зависит от температуры.

У ферромагнетиков магнитная восприимчивость достигает больших значений (тысяч и миллионов), больше нуля, и имеет сложную зависимость от температуры. К ним относятся железо, кобальт, никель, некоторые редкоземельные элементы, например, гадолиний.

Антиферромагнетики в своей структуре имеют две подрешетки, магнитные моменты которых антипараллельны и равны, т.е. суммарный магнитный момент равен нулю. К антиферро-

магнетикам принадлежат оксиды металлов - никеля, марганца и др.

Ферромагнетики также имеют две подрешетки, магнитные моменты антипараллельны и не равны, т.е. суммарный магнитный момент отличен от нуля. Это характерно для сплавоксида железа с оксидами других металлов (ферригов).

Причины ферромагнетизма:

- в ферромагнетиках предпоследняя электронная оболочка не полностью заполнена электронами и спиновые магнитные моменты в ней не скомпенсированы;

- благодаря малому межатомному расстоянию возникает большая энергия обменного взаимодействия, спиновые моменты соседних атомов выстраиваются в одном направлении, образуя области одинаковой намагниченности - домены. Доменная структура образует замкнутую магнитную цепь в материале, поэтому суммарный момент равен нулю. Доменная структура сохраняется в ферромагнетике до определенной температуры - точки Кюри. Выше точки Кюри ферромагнетик превращается в парамагнетик.

В кристаллической решетке ферромагнетиков существуют направления легкой и трудной намагниченности. Разность энергий трудной и легкой намагниченности называется энергией магнитной анизотропии.

Способность некоторых магнитных материалов изменять линейные размеры под действием внешнего магнитного поля называется магнитострикцией.

6.1. Основная кривая намагничивания

Процесс намагничивания материала описывает кривая намагниченности - зависимость

индукции (B) от напряженности поля (H) (рис. 6.1). В очень слабых полях (до $0,08 \text{ А/м}$) индукция возрастает линейно при

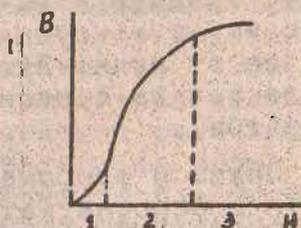


Рис. 6.1. Первоначальная кривая намагничивания

увеличении напряженности. В материале ориентируются и растут домены, магнитный момент которых составляет наименьший угол с направлением напряженности внешнего поля. Этот процесс обратим, идет без затрат энергии. В средних полях (примерно до 800 А/м) индукция возрастает нелинейно. Происходит ориентация остальных доменов и интенсивный рост тех, магнитный момент которых совпадает с направлением внешнего поля за счет лонки стенок соседних доменов. Процесс необратим, так как имеют место потери энергии. В сильных полях с напряженностью выше 800 А/м происходит окончательная ориентация доменов и наступает насыщение. Внутри доменов отдельные спиновые моменты могут иметь противоположные направления. В сильных полях происходит их ориентация, что называется *парапроцессом*. Если после намагничивания до насыщения (B_s) уменьшать напряженность поля, материал частично сохранит намагниченность, так как при том же значении напряженности индукция должна быть выше. Это явление называется *магнитным гистерезисом*. В процессе размагничивания при нулевом значении напряженности поля в материале сохраняется индукция, которая называ-

остаточной (B_r). Чтобы ее убрать, изменяют направление внешнего поля. Напряженность магнитного поля, необходимая для полного размагничивания, называется коэффициентом и в о й с и л о й (H_c). Продолжая намагничивать материал в обратном направлении, получают индукцию насыщения обратного знака ($-B_s$), уменьшая напряженность поля до нуля, получают остаточную индукцию ($-B_r$), убрать которую можно полем с напряженностью $+H_c$. При дальнейшем увеличении напряженности кривая опишет петлю, называемую петлей магнитного гистерезиса (рис. 6.2). Площадь петли гистерезиса пропорциональна потерям энергии в магнитном поле.

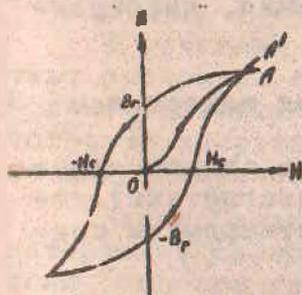


Рис. 6.2. Петля гистерезиса, полученная при одном цикле намагничивания

6.2. Потери энергии в магнитных материалах

Следует различать потери энергии в постоянном и переменном полях. В постоянном поле энергия расходуется на рост и поворот доменов и называется потерями на гистерезис. При намагничивании в переменном поле, кроме потерь на гистерезис возникают потери на вихревые токи, на последствие (магнитная вязкость) и на резонанс. В переменном поле потери на гистерезис возрастают пропорционально частоте, а потери на вихревые токи - квадрату частоты. Потери на последствие аналитическому расчету не поддаются, их оп-

ределяют как разность между общими потерями и суммой потерь на гистерезис и вихревые токи. Резонансные потери имеют место при совпадении частот внешнего поля с одной из собственных частот вращательно-колебательно-го движения частиц материала.

6.3. Магнитные проницаемости

Для всех магнитных материалов характерными показателями магнитных свойств помимо описанных выше являются магнитные проницаемости. Существует несколько магнитных проницаемостей, характеризующих материал в разных условиях: абсолютная, относительная, нормальная, начальная, максимальная, дифференциальная, комплексная и др.

6.4. Классификация магнитных материалов

По свойствам и применению сильномагнитные материалы (ферро- и ферримагнетики) делят на магнитомягкие, магнитотвердые и специального назначения.

6.4.1. Магнитомягкие материалы

Магнитомягкие ферромагнетики характеризуются узкой и высокой петлей гистерезиса с коэрцитивной силой в пределах 0,08...800 А/м. Их применяют в различных магнитопроводах. К ним относятся следующие группы материалов.

Магнитомягкие материалы для работы в постоянных и низкочастотных полях - технически чистое железо, электролитическое железо, карбонильное железо, электротехническая сталь, железокобальтовый сплав - пермендюр. Электротехнические стали - железокремниевые сплавы. Особый интерес представ-

ляют текстурованные стали после холодной прокатки. Они имеют повышенные механические свойства вдоль направления прокатки. Пермаллой обладает самой высокой индукцией насыщения 2,45 Тл и применяется в деталях магнитных осциллографов, генераторах двигателей самолетов.

В слабых полях работают материалы с малой энергией намагничивания - это железоникелевые сплавы - пермаллой. Их применяют для изготовления сердечников малогабаритных трансформаторов, реле, магнитных усилителей. Дешевым заменителем пермаллоев являются альсиферы - сплавы железа с алюминием и кремнием.

В условиях высокочастотных полей работают материалы с высокой и стабильной начальной магнитной проницаемостью и малыми потерями энергии. Такими свойствами обладают магнитодиэлектрики и ферриты.

Магнитодиэлектрики - композиционные материалы, состоящие из магнитного наполнителя (порошка карбонового железа, пермаллоя или альсифера) и диэлектрической связки (полистирола, фторпласта-4).

Ферриты - системы из оксидов железа и оксидов двух- или одновалентных металлов являются носителями не только магнитных, но и диэлектрических и полупроводниковых свойств. Как полупроводники они имеют электронную и дырочную проводимость, как диэлектрики - высокое удельное сопротивление. Однако проводимость ферритов растет с ростом частоты, так как в них появляются диэлектрические токи - ток смещения и ток абсорбции. Наша промышленность выпускает три основных вида магнитомягкие ферритов: никель-цинковый, марганец-цинковый и литий-цинковый. полях

СВЧ применяют ферриты-гранаты на основе оксидов редкоземельных элементов.

6.4.2. Магнитотвердые материалы

Магнитотвердые материалы трудно намагничиваются и трудно размагничиваются, поэтому их применяют в постоянных магнитах, для записи и хранения звука и изображения. Для них характерна широкая петля гистерезиса, коэрцитивная сила более 4000 А/м. Постоянные магниты работают при наличии размагничивающего поля зазора и их специфическая характеристика - энергия, выделяемая в зазор (W). Она равна половине произведения индукции на напряженность. Рабочей точкой постоянного магнита соответствует максимальная энергия, выделяемая в зазор (рис. 6.3).

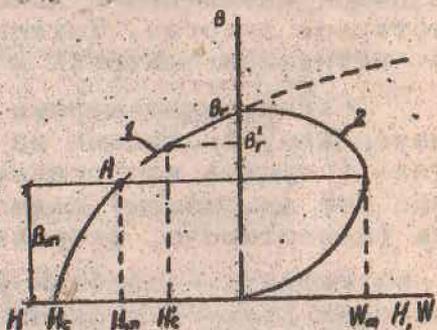


Рис. 6.3. Кривые, характеризующие свойства магнитопровода с зазором

К магнитотвердым принадлежат следующие материалы:

- мартенситная сталь (применяется редко в устройствах, где масса и габариты не являются существенными);

- литые сплавы системы алюминий-никель-железо (альни), с добавкой меди (альнис), меди и кобальта (альнико). Сплав альнико после термомеханической обработки получил

название магнито и позволяет уменьшить массу и габариты постоянного магнита в четыре-пять раз;

- пластичные сплавы - кунифе (медь-никель-железо), кунико (медь-никель-кобальт) викаллоу (ванадий-кобальт-железо) применяют для изготовления магнитной проволоки, лент магнитозаписи, малогабаритных магнитов сложной конфигурации;

- высококоэрцитивные сплавы железо-платина, кобальт-платина, висмут-марганец используют в миниатюрных постоянных магнитах.

Магнитотвердые ферриты - ферриты бария в зависимости от технологии производства могут быть изотропными (ФЗИ) и анизотропными (ФБА). Ферриты с большой анизотропией свойств называют ферроксианами. Феррит бария применяют для изготовления эластичных магнитов - ферроэластов для листов магнитной памяти ЭВМ, для отклоняющих систем в телевизорах.

6.4.3. Специальные магнитные материалы

Специальные магнитные материалы обладают усиленными или особыми свойствами. К ним относятся материалы с прямоугольной петлей гистерезиса (магний-марганцевые ферриты, пермаллоевые ленты) для изготовления запоминающих устройств ЭВМ; термомагнитные сплавы с резкой зависимостью индукции насыщения от температуры (компенсаторы из сплава железо-никель-хром) для производства магнитных шунтов; магнитострикционные материалы (никель, никель-кобальтовый феррит, никель-цинковый феррит, пермендиур, альфер - сплав алюминия с железом) для магнитомеханических преобразователей; материалы с постоянной магнитной проницаемостью (перминвар - сплав железа с

никелем и кобальтом, изоперм - сплав железа с никелем, медью и алюминием) для измерительных приборов; материал с высокой индукцией насыщения - пермендюр, используемый для изготовления мембран телефонов.

Последнее время нашли применение в конструкциях ЭВМ тонкие пленки со специфическими магнитными доменами - полосовыми и цилиндрическими.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОГО ЗАДАНИЯ

Учебной программой предусмотрено выполнение контрольного задания, которому должно предшествовать изучение основных разделов дисциплины "Электротехнические и конструкционные материалы".

Контрольное задание содержит 100 вариантов. Каждый вариант состоит из шести вопросов, охватывающих все разделы курса. Студент выполняет контрольное задание того варианта, номер которого совпадает с двумя последними цифрами его зачетной книжки. Например, номер зачетной книжки 240157. Согласно таблице студент выполняет вариант 57. Этот вариант включает в себя вопросы: 23, 25, 54, 131, 185, 218 (см. таблицу).

Содержание ответов должно полностью соответствовать поставленному вопросу. Не следует переписывать из учебной и справочной литературы все характерные данные для описываемого материала, однако основные данные необходимо привести и прокомментировать. При выполнении задания студент стремится к тому, чтобы ответы были четкими, ясными, обоснованными, убедительными.

Контрольное задание следует выполнять аккуратно, разборчивым почерком, оставляя на листах тетради поле 30-35 мм (для замечаний и исправлений). Ответы должны отражать глубокие знания описываемого материала.

Перед изложением ответа вопрос необходимо написать из методических указаний без искажений и перед ним поставить его номер. Ответ должен быть при необходимости иллюст-

рирован схемами, графиками, диаграммами, рисунками структур и др. После ответа на вопрос необходимо сделать ссылку на использованную литературу с указанием конкретных страниц.

В начале контрольного задания следует написать номер зачетной книжки студента, вариант его задания и шесть вопросов, в конце привести список использованной литературы и поставить личную подпись и дату выполнения.

ВНИМАНИЕ! Контрольное задание, написанное небрежно, неразборчиво, а также с отсутствием полных ответов или ответов хотя бы на один вопрос, возвращается для повторного выполнения.

ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

Основы материаловедения

1. Перечислите основные требования, предъявляемые к конструкционным, электротехническим материалам и радиоматериалам. Приведите классификацию этих материалов по отношению к электрическому и магнитному полю.

2. Перечислите основные типы химических связей. Охарактеризуйте свойства материалов с ковалентным типом связей.

3. Объясните сущность металлической связи и ее особенности.

4. Охарактеризуйте ионный тип связи и приведите практические примеры.

5. Объясните молекулярный тип связи, его особенности; приведите практические примеры.

6. Опишите сущность зонной теории твердых тел.
7. Объясните явления анизотропии, изотропии, квазизотропии.
8. Перечислите основные типы кристаллических решеток. Нарисуйте эти решетки и опишите отличие их параметров.
9. Объясните сущность идеального и реального строения металлических кристаллов.
10. Начертите основные дефекты кристаллического строения металлов и объясните влияние их на свойства этих материалов.
11. Объясните влияние краевой и винтовой дислокаций на свойства металлических материалов. Проиллюстрируйте ответ.
12. Постройте диаграмму состояния железо-углерод и объясните ее стальную часть.
13. Объясните закономерности Н.С. Курнакова и приведите примеры их практической реализации.
14. Опишите влияние пластической деформации на свойства металлов. Дайте характеристику явлению нагтепа.
15. Начертите текстуру Ст 45 пластической деформации, приведите ей кристаллизационный отжиг и нарисуйте структуру после отжига. Опишите эти процессы.
16. Дайте определение термической обработки. Начертите цикл термообработки. Поясните назначение термообработки и ее виды.
17. Начертите цикл закалки дозвтектоидной стали. Нарисуйте структуру стали до термообработки и закаленной на мартенсит.

18. Опишите процесс отжига стали, содержащей 0,3% С, и объясните ее свойства.

19. Перечислите виды отпуска стали и объясните ее свойства после отпуска.

20. Объясните сущность старения алюминиевых сплавов и его назначение. Приведите примеры практического применения данного процесса.

21. Перечислите и опишите основные виды коррозии и проиллюстрируйте их.

22. Приведите основные факторы, влияющие на процессы коррозии.

23. Перечислите основные меры предупреждения и замедления коррозии.

Конструкционные материалы

24. Нарисуйте структуру технического железа и опишите его свойства.

25. Начертите диаграмму железо-углерод и объясните ее сталную часть.

26. Дайте определение легированным сталям, приведите их классификацию, маркировку и назначение.

27. Перечислите основные марки алюминиевых сплавов. Опишите их свойства и назначение.

28. Приведите классификацию магниевых сплавов. Опишите их преимущества, недостатки и применение.

29. Перечислите основные марки титановых сплавов. Опишите их свойства и назначения.

30. Дайте определение пластмасс. Приведите их классификацию и основные свойства.

31. Перечислите составляющие пластмасс и охарактеризуйте их.

32. Опишите методику изготовления конструктивных деталей (корпусов, ручек, кнопок и др.) из пластмасс и приведите примеры их использования.

Проводниковые материалы

33. Объясните классификацию проводниковых материалов, основываясь на особенностях их проводимости.

34. Объясните природу проводимости проводников с точки зрения классической электронной теории и укажите ее недостатки.

35. Объясните физику проводимости проводников с позиций квантовой волновой механики.

36. Укажите основные свойства проводников и их количественные показатели.

37. Объясните физический смысл температурного коэффициента удельного сопротивления металлов и сплавов.

38. Объясните природу теплопроводности проводников.

39. Опишите контактные явления на границе двух металлов и их практическое значение.

40. Объясните влияние нагрева на удельное сопротивление металлов и сплавов.

41. Как примеси и дефекты влияют на удельное сопротивление проводников? Ответ обоснуйте.

42. Объясните влияние упругой и пластической деформации на свойства проводников.

43. Опишите взаимосвязь между составом, строением и удельной проводимостью сплавов, используя диаграммы Н.С. Курнакова.

44. Объясните физический смысл явления сверхпроводимости.

45. Объясните влияние магнитного поля на явление сверхпроводимости.

46. Что такое сверхпроводники I и II рода? Опишите их применение.

47. Опишите явление высокотемпературной сверхпроводимости, его значение и применение.

48. Укажите материалы высокой проводимости, их основные физико-механические свойства и применение.

49. Укажите марки чистой меди и их применение.

50. Опишите основные свойства и применение благородных металлов - золота, серебра, платины.

51. Опишите свойства и применение алюминия и его сплавов.

52. Укажите свойства и применение никеля.

53. Укажите основные марки, свойства и применение сплавов меди - бронзы и латуни.

54. Какие сплавы на основе железа применяются в нагревательных элементах?

55. Опишите свойства и применение резистивных сплавов.

56. Опишите свойства и применение проводниковых сплавов для реостатов.

57. Опишите свойства и применение конс-

тантана. Почему его не применяют в образцовых резисторах?

58. Укажите состав, свойства и применение манганина и его разновидностей.

59. Какие требования предъявляют к материалам контактов? Приведите примеры материалов.

60. Какие материалы применяют в разрывных контактах? Ответ обоснуйте.

61. Опишите материалы скользящих контактов и требования к ним.

62. Опишите свойства и назначение флюсов.

63. Укажите основные марки припоев и их назначение.

64. Что такое контактолы и где они применяются?

65. Укажите материалы, применяемые в микросхемах.

66. Что такое керметы? Опишите их применение.

67. Укажите основные материалы для тернопар, основные тернопары и температурные режимы их работы.

68. Какие неметаллические материалы являются проводниками? Опишите их применение.

69. Опишите свойства и применение конструкционных алюминиевых сплавов.

70. Опишите свойства и применение конструкционных магниевых сплавов.

71. Опишите свойства и применение конструкционных титановых сплавов.

72. Опишите свойства и применение в электровакуумной технике сплавов на основе железа.

Диэлектрические материалы

73. Опишите свойства полярных и неполярных диэлектриков. Приведите примеры с указанием численных значений свойств.

74. Дайте определение поляризации. Объясните физическую сущность диэлектрической проницаемости.

75. Назовите и опишите основные виды поляризации.

76. Объясните, в чем отличие электронной упругой поляризации от электронно-релаксационной. Опишите механизм электронной поляризации, ее зависимость от температуры и частоты поля. Какие диэлектрики обладают электронной поляризацией?

77. Объясните ионную упругую и релаксационную виды поляризации. В каких диэлектриках они наблюдаются?

78. В чем заключается дипольно-релаксационная поляризация? Как она зависит от температуры и частоты поля? В каких диэлектриках она наблюдается?

79. Опишите поляризацию газообразных диэлектриков. Объясните зависимость диэлектрической проницаемости газов от температуры и давления.

80. Объясните зависимость диэлектрической проницаемости жидкостей от температуры и частоты.

81. Опишите поляризацию твердых диэлектриков. Объясните графические зависимости

диэлектрической проницаемости от температуры для твердых диэлектриков, обладающих различными видами поляризации.

82. Опишите особенности поляризации сегнетоэлектриков. Что такое точка Кюри?

83. Опишите физическую сущность электропроводности газов.

84. Объясните основные механизмы электропроводности диэлектриков.

85. Опишите физическую природу электропроводности жидких диэлектриков. Как удельная проводимость жидких диэлектриков зависит от температуры?

86. Объясните явление электрической очистки жидких диэлектриков.

87. Начертите и объясните график зависимости тока утечки через диэлектрик от времени.

88. Опишите зависимость удельного объемного сопротивления твердых диэлектриков от температуры.

89. Объясните влияние влажности на удельное сопротивление твердых диэлектриков.

90. Дайте определение удельного объемного и удельного поверхностного сопротивлений. Назовите единицы их измерения.

91. Дайте определение пробоя диэлектриков, напряжения пробоя, электрической прочности.

92. Опишите механизмы пробоя газообразных диэлектриков.

93. Объясните зависимость электрической прочности газов от давления. В чем заключается практическое значение этой зависимости?

94. Рассмотрите зависимость напряжения пробоя газов от частоты электрического поля.

95. Приведите и опишите виды пробоя твердых диэлектриков.

96. Объясните физическую сущность диэлектрических потерь.

97. Как диэлектрические потери зависят от характеристик поля и свойств диэлектрика? Опишите виды диэлектрических потерь.

98. Объясните диэлектрические потери в газах.

99. Объясните диэлектрические потери сквозной проводимости.

100. Опишите диэлектрические потери, обусловленные поляризацией.

101. Объясните диэлектрические потери в жидких диэлектриках.

102. Опишите и объясните потери в твердых диэлектриках.

103. Опишите диэлектрические потери в твердых веществах неоднородной структуры.

104. Объясните применение водорода в электротехнике.

105. Опишите применение инертных газов.

106. Перечислите газы, имеющие более высокую и более низкую электрическую прочность, чем воздух.

107. Дайте характеристику свойств газообразных диэлектриков.

108. Каковы свойства и применение трансформаторного масла?

109. Опишите достоинства и недостатки нефтяных изоляционных масел.

110. Как изменяются характеристики трансформаторного масла при увлажнении и загрязнении продуктами окисления?

111. Перечислите виды электроизоляционных жидкостей, их свойства и назначение

112. В чем заключается процесс старения нефтяных масел? Назовите факторы, ускоряющие их старение.

113. Перечислите мероприятия, применяемые для замедления старения масел.

114. Опишите влияние воздушных включений на электрические свойства жидких диэлектриков.

115. В чем заключается регенерация трансформаторного масла?

116. Перечислите требования к электроизоляционным жидкостям, которые применяются для пропитки бумажных конденсаторов.

117. Каковы свойства и применение синтетических жидких диэлектриков?

118. Перечислите требования к жидкостям, применяемым в кабелях.

119. Опишите негорючие жидкие диэлектрики.

120. Какими свойствами обладают полиэтилен и полистирол? Где они применяются?

121. Каковы основные свойства и применение фторорганических полимеров?

122. Опишите основные характеристики и применение поливинилхлорида.

123. Дайте характеристику полиакрилатов.

124. Опишите свойства и применение полиуретановых и полиамидных смол.

125. Перечислите воскообразные диэлектрики. Где они применяются?

126. Объясните свойства эфиров целлюлозы и область их применения.

127. Перечислите природные смолы. Опишите их свойства и применение. Дайте характеристику свойств растительных масел.

128. Опишите свойства и применение битумов.

129. Объясните свойства и применение эпоксидных смол.

130. Как получают термопластичные и терморезистивные фенольноформальдегидные смолы. Каковы их свойства и применение?

131. Каковы основные свойства полиэфирных смол и область их использования?

132. Опишите кремнийорганические электроизоляционные материалы.

133. Опишите электроизоляционные лаки, их виды и назначение.

134. Опишите смоляные, целлюлозные и масляные лаки. Объясните свойства и применение.

135. Объясните свойства и применение битумных, масляно-битумных и масляно-смоляных лаков.

136. Каковы свойства и применение компаундов?

137. Опишите волокнистые материалы применяемые для электрической изоляции.

138. Перечислите виды бумаг картонов, их применение.

139. Перечислите виды лакотканей, их свойства.

140. Дайте описание гибких пленок, получаемых из синтетических полимеров.

141. Опишите пластмассы, назовите их компоненты.

142. Перечислите слоистые пластмассы и опишите их свойства и применение.

143. Перечислите виды каучуков, применяемые для получения резин.

144. Опишите свойства резин и их применение.

145. В чем заключается старение резины, какие факторы его ускоряют?

146. Дайте описание эбонита и эскапона.

147. Опишите свойства стекол, их применение.

148. Дайте описание стекломали.

149. Охарактеризуйте свойства стекловолокна и стеклотканей.

150. Объясните принципы работы с электродами и назовите материалы для их изготовления.

151. Дайте описание ситаллов.

152. Рассмотрите керамические материалы.

153. Каковы технологические процессы изготовления керамических деталей?

154. Опишите керамические материалы высокой температуростойкости.

155. Охарактеризуйте керамику с высокой диэлектрической проницаемостью.

156. Что такое сегнетокерамика?

157. Назовите материалы для изготовления варикондов.
158. Опишите виды слюды, их свойства и применение.
159. Опишите материалы, полученные на основе слюды.
160. Рассмотрите слюдиниты и слюдопласты.
161. Опишите миканиты.
162. Дайте характеристику микалекса.
163. Что такое асбест и асбестовые материалы?
164. Опишите неорганические диэлектрические пленки.
165. Что такое сегнетоэлектрики? Где они применяются?
166. Опишите свойства и применение пьезоэлектриков.
167. Опишите пироэлектрики.
168. Охарактеризуйте электреты.
169. Что такое жидкие кристаллы, где они применяются.
170. Перечислите и опишите влажностные свойства диэлектриков.
171. Перечислите и опишите механические свойства диэлектриков.
172. Объясните тепловые свойства диэлектриков.
173. Объясните воздействие на материалы излучений высокой энергии.

Полупроводниковые материалы

174. Зонные структуры собственного и примесных полупроводников.

175. Нарисуйте и объясните графики зависимости концентрации и подвижности носителей заряда в полупроводниках от температуры.

176. Нарисуйте и объясните график зависимости проводимости полупроводников от температуры.

177. Перечислите устройства и материалы для них, в которых реализуется зависимость проводимости полупроводников от температуры.

178. Объясните физику работы терморезисторов, укажите материалы для их изготовления.

179. Объясните зависимость проводимости полупроводников от освещенности. Где реализуется эта зависимость?

180. Объясните, что такое фоторезисторы и какова их область применения. Какие материалы применяют для их изготовления?

181. Объясните взаимосвязь между длиной волны света и энергией запрещенной зоны полупроводников для фоторезисторов.

182. Объясните элементарную физику явления люминесценции полупроводников.

183. Какие материалы называют люминофорами и где их применяют?

184. Объясните влияние внешнего электрического поля на проводимость полупроводников. Где реализуется эта зависимость?

185. Объясните физику работы варисторов, укажите материалы для их изготовления.

186. Объясните вольт-амперную характеристику варисторов и их применение.

187. Объясните физическую сущность эффекта Холла. Его применение.

188. Обоснуйте выбор полупроводниковых материалов для датчиков Холла. Их применение.

189. Опишите физику работы датчиков Холла. Какие материалы используются для их изготовления?

190. Объясните физическую природу эффекта Зеебека. Его применение.

191. Объясните физику работы термоэлектрогенераторов и выбор материалов для них.

192. Объясните физическую природу эффекта Пельтье. Его применение.

193. Объясните физику работы термоэлектрохолодильников и выбор материалов для них.

194. Объясните понятия "уровень Ферми" и "работа выхода электрона", используя элементарную зонную структуру собственного и примесных полупроводников.

195. Объясните причины возникновения разности потенциалов на контакте разнородных материалов.

196. Объясните случай контакта металл-полупроводник с электронной проводимостью, если работа выхода электрона из металла выше, чем полупроводника.

197. Объясните случай контакта металл-полупроводник с дырочной проводимостью, если работа выхода электрона металла выше, чем полупроводника.

198. Объясните случай контакта металл-полупроводник с электронной проводимостью, если работа выхода электрона металла ниже, чем проводника.

199. Объясните случай контакта металл-полупроводник с дырочной проводимостью, если работа выхода электрона ниже, чем полупроводника.

200. Объясните влияние внешнего поля на электронно-дырочный переход в полупроводнике, укажите материалы для полупроводниковых выпрямителей.

201. Нарисуйте и объясните вольт-амперные характеристики прямого и обратного включения электронно-дырочного перехода, назовите материалы для полупроводниковых выпрямителей.

202. Опишите элементарную физику вентильного фотоэффекта и укажите его применение.

203. Объясните физику работы вентильных фотоэлементов (фотодиодов) и назовите материалы для их изготовления.

204. Объясните физику работы солнечных батарей и укажите материалы для их изготовления.

205. Опишите способы производства, свойства и применение германия.

206. Опишите особенности производства, свойства и применение кремния.

207. Опишите основные характеристики, область применения карбида кремния и арсенида галлия. Объясните технологию получения тирита, вилита и лэтина.

208. Объясните, почему собственный полупроводник имеет электронную проводимость.

Магнитные материалы

209. Объясните природу ферромагнетизма.

210. Начертите кривую намагничивания и объясните ее.

211. Объясните зависимость магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля.

212. Начертите гистерезисный цикл, охарактеризуйте его.

213. Объясните зависимость магнитной проницаемости от температуры. Что такое температура Кюри?

214. Опишите явления магнитной анизотропии и магнитострикции. Где используется магнитострикция?

215. Что такое потери энергии в магнитных материалах?

216. Как деформация и строение материала влияет на гистерезисные потери?

217. Каким образом можно уменьшить потери на вихревые токи?

218. Какие материалы называются магнитомягкими?

219. Опишите магнитные свойства железа и низкоуглеродистой стали.

220. Дайте характеристику кремнистой электротехнической стали.

221. Дайте характеристику пермаллоев.

222. Опишите альсиферы.

223. Перечислите и опишите свойства материалов специализированного назначения.

224. Опишите магнитомягкие ферриты.

225. Охарактеризуйте магнитодиэлектрики.

226. Какие материалы называются магнитотвердыми?

227. Сличите свойства магнитопровода с зазором.

228. Опишите магнитотвердые ферриты.

229. Охарактеризуйте литые магнитотвердые сплавы.

230. Опишите металлокерамические и металлопластические магниты.

231. Охарактеризуйте металлические и неметаллические материалы для звукозаписи.

232. Опишите магнитотвердые пластичные сплавы.

233. Назовите высококоэрцитивные магнитотвердые материалы. Где они применяются?

234. Охарактеризуйте сплавы с высокой магнитострикцией.

235. Приведите сплавы с высокой индукцией насыщения и укажите их применение.

236. Опишите термоманитные сплавы. Где они применяются?

237. Каковы состав, свойства и применение материалов с прямоугольной петлей гистерезиса?

238. Опишите материалы с постоянной магнитной проницаемостью.

239. Перечислите перспективные магнито-твердые материалы высокой энергии на основе соединений редкоземельных металлов. Опишите их свойства.

240. Опишите магнитные материалы, не изменяющие своего объема при изменении температуры, укажите их состав, характеристики и область применения.

241. Опишите конструкционные чугуны и стали (магнитные и немагнитные).

242. Охарактеризуйте тонкие магнитные пленки и цилиндрические домены.

Таблица расчетных данных

Предпо- следняя цифра зачетной книжки	Последняя цифра зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1 73	2 74	3 75	4 76	5 77	6 78	7 79	8 80	9 81	10 82
0	32 174	31 175	30 176	29 177	28 178	27 179	26 180	25 181	24 182	23 183
	33 209	34 210	35 211	36 212	37 213	38 214	39 215	40 216	41 217	42 218
	11 83	12 84	13 85	14 86	15 87	16 89	17 90	18 91	19 92	20 93
1	26 184	27 185	28 186	29 187	30 188	31 189	32 190	31 191	30 192	29 193
	43 219	44 220	45 221	46 222	47 223	48 224	49 225	50 226	51 227	52 228
	21 94	22 95	23 96	22 97	21 98	20 99	18 100	19 101	17 102	16 103
2	28 194	27 195	26 196	25 197	24 198	25 199	26 200	27 201	28 202	29 203
	53 229	54 230	55 231	56 232	57 233	58 234	59 235	60 236	61 237	62 238
	14 104	13 105	12 106	11 107	10 108	9 109	8 110	7 111	6 112	5 113
3	30 204	31 205	32 206	31 207	30 208	29 207	28 206	27 205	26 204	25 203
	63 239	64 240	65 241	66 242	67 241	68 240	69 239	70 238	71 237	72 236
	4 114	3 115	2 116	1 117	8 118	13 119	12 120	3 121	4 122	5 123
4	24 202	25 201	26 200	27 199	28 198	29 197	30 196	31 195	32 194	31 193
	71 235	70 234	69 233	68 232	67 231	66 230	65 229	64 228	63 227	62 226

Препод- следняя цифра зачетной книжки	Последняя цифра зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	6 124 30 192 61 225	9 125 29 191 60 224	12 126 28 190 59 223	2 127 27 189 58 222	7 128 26 188 57 221	14 129 25 187 56 220	11 130 24 186 55 219	23 131 25 185 54 218	1 132 26 184 53 217	2 133 27 183 52 216
6	7 134 28 182 51 215	10 135 29 181 50 214	13 136 30 180 49 213	3 137 31 179 48 212	6 138 32 178 47 211	15 139 31 177 46 210	10 140 30 176 45 209	20 141 29 175 44 210	21 142 28 174 43 211	22 143 27 175 42 212
7	8 144 26 176 41 213	11 145 25 177 40 214	14 146 24 178 39 215	4 147 25 179 38 216	5 148 26 180 37 217	16 149 27 181 36 218	9 150 28 182 35 219	17 151 29 183 34 220	18 152 30 184 33 221	19 153 21 185 32 222
8	15 154 32 186 40 223	16 155 24 187 50 224	17 156 25 188 40 225	18 157 37 189 49 226	19 158 28 190 59 227	20 159 26 191 49 228	21 160 27 192 48 229	22 161 28 193 38 230	23 162 29 194 58 231	24 163 30 195 57 232
9	21 164 31 196 47 233	20 165 32 197 37 234	19 166 26 198 36 235	18 167 24 199 46 236	17 168 25 200 56 237	16 169 28 201 35 238	15 170 26 202 45 239	14 171 29 203 55 240	13 172 24 204 33 241	12 173 30 205 43 242

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	3
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	3
1. ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ	4
1.1. Основные типы химических связей	5
1.2. Строение и свойства материалов	8
1.3. Реальное строение металлических кристаллов	12
1.4. Элементы зонной теории твердого тела	15
1.5. Сплавы. Связь свойств сплавов с их составом и структурой	18
1.6. Влияние пластической деформации на свойства металлов и сплавов	20
1.7. Влияние термической обработки на строение и свойства материалов	21
1.8. Коррозия и защита от коррозии	24
2. КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	27
2.1. Железоуглеродистые сплавы	27
2.2. Легированные стали	28
2.3. Сплавы на основе алюминия, магния и титана	29
2.4. Пластмассы	31
3. ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ	34
3.1. Свойства диэлектриков	34
3.1.1. Поляризация диэлектриков	34
3.1.2. Электропроводность диэлектриков	37
3.1.3. Диэлектрические потери	40
3.1.4. Пробой диэлектриков	42
3.2. Диэлектрические материалы	48
3.2.1. Газообразные диэлектрики	48
3.2.2. Жидкие диэлектрики	48
3.2.3. Твердые органические диэлектрики	40

3.2.4. Твердые неорганические диэлектрики	52
3.2.5. Активные диэлектрики	55
4. ПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ	58
4.1. Основные свойства проводников	58
4.2. Физический смысл сопротивления проводников.....	59
4.3. Влияние различных факторов на удельное сопротивление проводников	59
4.4. Сверхпроводимость	60
4.5. Классификация проводниковых материалов	62
5. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ	66
5.1. Электропроводность полупроводников..	67
5.2. Примеси в полупроводниках	67
5.3. Влияние температуры на электропроводность полупроводников	68
5.4. Влияние освещенности на электропроводность полупроводников	69
5.5. Люминесценция	70
5.6. Влияние напряженности внешнего электрического поля на электропроводность полупроводников	70
5.7. Эффект Холла	71
5.8. Термоэлектрические явления в полупроводниках	71
5.9. Контактные явления, p-n - переходы..	72
5.10. Некоторые полупроводниковые материалы	73
6. МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	74
6.1. Основная кривая намагничивания	75
6.2. Потери энергии в магнитных материалах	77
6.3. Магнитные проницаемости	78

6.4. Классификация магнитных материалов	78
6.4.1. Магнитомягкие материалы	78
6.4.2. Магнитотвердые материалы	80
6.4.3. Специальные магнитные материалы..	81

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОГО ЗАДАНИЯ	8
---	----------

ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ	84
--	-----------

ТАБЛИЦА РАСЧЕТНЫХ ДАННЫХ	103
---------------------------------------	------------

Учебно-методическое издание
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ
И КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Методические указания и контрольное задание для студентов Института заочного и дистанционного обучения специальности 7.091301 "Информационно-измерительные системы" специализации 7.091301.02 "Авиационные и вычислительные комплексы"

Составители: ЛАБУНЕЦ Василий Федорович,
ИВЖЕНКО Ирина Петровна,
КЛИМОВА Татьяна Сергеевна,
СВИРИД Михаил Николаевич

Редактор Н.М. Угляренко
Технический редактор А.И. Лавринович

Подписано в печать 10.12.00. Формат 60x84/16.
Бумага типорг. Офсетная печать. Усл. кр.-отт. 28.
Усл. печ. л. 6, 28. Уч.-изд. л. 6, 75. Тираж 140 экз.
Заказ № 296-1. Цена . Изд. № 143/Ш.

Издательство НАУ.
03038. Киев-58, проспект Космонавта Комарова, 1.

108