

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра микро- и наноэлектроники

МАТЕРИАЛЫ И КОМПОНЕНТЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
(раздел «Радиоматериалы»)

Методические указания, программа и контрольные задания
для студентов специальности I-39 01 01 «Радиотехника»
заочной формы обучения

Минск 2008

УДК 621.396.69(075.7)
ББК 32.843 я 73
М 34

Р е ц е н з е н т

проректор по научной работе Минского государственного высшего
радиотехнического колледжа, канд. техн. наук,
доц. А. В. Короткевич

С о с т а в и т е л ь
В. В. Шульгов

Материалы и компоненты радиоэлектроники (раздел «Радиомате-
риалы») : метод. указания, программа и контрольные задания для студ.
М 34 спец. I-39 01 01 «Радиотехника» заоч. формы обуч. / сост. В. В. Шуль-
гов. – Минск : БГУИР, 2008. – 40 с.
ISBN 978-985-488-269-7

Приводятся программа, методические указания и контрольные задания по разделу «Радиоматериалы» курса «Материалы и компоненты радиоэлектроники». Издание предназначено для студентов заочного обучения и содержит вопросы по четырем основным темам раздела.

Является переработанным и дополненным изданием методического пособия по курсу «Радиотехнические материалы и радиодетали» для студентов специальности «Радиотехника» заочного отделения.

УДК 621.396.69(075.7)
ББК 32.843 я 73

ISBN 978-985-488-269-7

© Шульгов В. В., составление, 2008
© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2008

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. Предмет и содержание курса

Для студентов различных специальностей БГУИР читаются курсы, посвященные материалам, применяемым для изготовления деталей электротехнической, радиотехнической, радиоэлектронной и микроэлектронной аппаратуры.

Эти материалы имеют разные названия – электротехнические материалы, радиотехнические материалы, материалы электронной техники.

В теоретической части эти курсы близки – в ней рассматриваются процессы взаимодействия различных классов веществ с электрическим, магнитным и электромагнитным полями. Эффекты этого взаимодействия используются при создании конденсаторов, электрической изоляции, резисторов, трансформаторов, катушек индуктивности, полупроводниковых диодов, транзисторов и т.д.

В той части названных курсов, которая посвящена непосредственно изучению материалов, они частично разнятся. Принято считать, что в электротехнических устройствах наибольший удельный вес имеют низкочастотные, а в радиотехнических – высокочастотные материалы.

Однако принципиальной четкой границы между электротехническими и радиотехническими материалами провести нельзя. Поэтому для изучения радиотехнических материалов могут быть рекомендованы учебники по материалам электронной техники или электротехническим материалам.

В курсе «Материалы и компоненты радиоэлектроники» изучаются материалы, которые имеют определенный набор свойств по отношению к электромагнитному полю и применяемые при изготовлении компонентов радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) с учетом этих свойств.

1.2. Классификация веществ по электрическим и магнитным свойствам

Свойство – это то, что характеризует какую-либо сторону предмета и что выявляется во взаимодействии данного предмета с другими предметами или явлениями. Каждый предмет имеет множество различных свойств, совокупность которых составляет его качество. При взаимодействии веществ с электрическим полем проявляются электрические свойства, при взаимодействии их с магнитным полем – магнитные свойства, при взаимодействии со светом – оптические свойства и т.д.

Нас будут интересовать электрические и магнитные свойства.

По электрическим свойствам все без исключения вещества делятся на три группы: диэлектрики, проводники и полупроводники. Внешнее электрическое поле действует на заряды с силой $F = qE$. Если заряды в веществе связаны друг с другом, они только смещаются на небольшие расстояния – происходит поля-

ризация. Если они свободны, то перемещаются на большие расстояния – появляется электропроводность.

Диэлектриками называются вещества, основным электрическим свойством которых является способность поляризоваться в электрическом поле.

Проводниками называются вещества, основным электрическим свойством которых является электропроводность.

Полупроводники – это вещества, основным свойством которых является сильная зависимость электропроводности от температуры, освещенности, электрического поля и т.д.

В основу классификации, как видно, положена главная, наиболее ярко выраженная реакция того или иного вещества на внешнее электрическое поле.

По магнитным свойствам все вещества делят на пять групп: диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики, антиферромагнетики и ферримагнетики.

В курсе «Материалы и компоненты радиоэлектроники» рассматриваются только ферро- и ферримагнетики.

1.3. Классификация радиотехнических материалов

Не все вещества могут использоваться в технике. Для практического применения необходимо, чтобы в количественном отношении электрические или магнитные свойства были достаточно выражены, чтобы и другие свойства – тепловые, механические, химические и т.д. отвечали определенным требованиям. Кроме того, материал должен быть доступным и не очень дорогим.

Те вещества, которые имеют определенный набор свойств, позволяющий их применять в радиотехнике, и называют радиотехническими материалами. Они делятся на четыре группы:

- 1) диэлектрические материалы;
- 2) проводниковые материалы;
- 3) полупроводниковые материалы;
- 4) магнитные материалы, к которым относятся только ферро- и ферримагнитные вещества.

Таким образом, понятие «диэлектрик» шире, чем «диэлектрический материал», «полупроводник», чем «полупроводниковый материал» и т.д.

1.4. Государственные стандарты

На терминологию в области материаловедения разработаны государственные стандарты. Ниже дан перечень основных стандартов, к которым студент обязан обращаться при изучении курса, выполнении лабораторных и контрольных работ.

ГОСТ 19880-74 «Электротехника. Основные понятия. Термины и определения».

ГОСТ 1494-77 «Электротехника. Буквенные обозначения основных величин».

ГОСТ 21515-76 «Материалы диэлектрические. Термины и определения».

ГОСТ 22622-77 «Материалы полупроводниковые. Термины и определения основных электрофизических параметров».

ГОСТ 19693-74 «Материалы магнитные. Термины и определения».

Формулы при ответах на вопросы записывают в рационализованном виде, для решения конкретных задач используют международную систему единиц (СИ).

1.5. Место курса «Материалы и компоненты радиоэлектроники» в ряду других, изучаемых студентами специальности I-39 01 01 «Радиотехника»

Курс «Материалы и компоненты радиоэлектроники» базируется на знаниях, которые студенты приобрели, изучая математику, физику, химию и теоретические основы электротехники.

1.6. Значение курса «Материалы и компоненты радиоэлектроники» для последующей деятельности инженеров по радиоэлектронике

Для специалистов радиотехнического профиля знание материалов необходимо как при изучении последующих курсов, так и для будущей инженерной деятельности.

РЭА изготавливается из электрорадиоэлементов (ЭРЭ) – конденсаторов, резисторов, полупроводниковых приборов, трансформаторов, катушек индуктивности, фильтров, контактных устройств и т.д., а ЭРЭ – из материалов. Именно в радиоэлементах используется эффект взаимодействия материалов с электромагнитным полем.

Для правильного и рационального использования ЭРЭ и совершенствования РЭА надо знать свойства материалов, возможности их взаимозаменяемости, доступность, стоимость и т.д.

1.7. Структура методического издания

Радиотехнические материалы изучаются в соответствии с классификацией, приведенной в подразд. 1.3.

В разд. 2 приведена рабочая программа, составленная на основании типовой программы «Материалы и компоненты радиоэлектроники» для высших учебных заведений для специальности I-39 01 01 «Радиотехника», утвержденной Министерством образования Республики Беларусь 27.02.2006 г., регистрационный №ТД – I. 017/тип.

Темы рабочей программы сопровождаются методическими указаниями, которые облегчают самостоятельное изучение материала.

В разд. 3 приведены контрольные вопросы по диэлектрическим, проводниковым, полупроводниковым и магнитным материалам. Нумерация вопросов и задач сплошная.

Эта часть методических указаний построена следующим образом: дается основной вопрос, на который надо уметь ответить при выполнении контрольной работы, при самопроверке и на зачете. Вопрос сопровождается разъяснением и дополнительными вопросами, которые подсказывают студенту, о чем сказать, чтобы ответ был как можно более полным. Полный ответ может быть дан только в том случае, если хорошо изучен весь материал.

В разд. 4 даны задачи и методические указания к их решению.

В разд. 5 приведен порядок выдачи контрольного задания. Студент-заочник обязан ответить на пять вопросов из разд. 3 и решить три задачи из разд. 4 данного пособия.

В конце пособия приведена литература. Первые три источника являются основными и ссылки в издании даются на них.

2. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА КУРСА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЕЕ РАЗДЕЛАМ

2.1. Введение

Задачи и содержание курса. Классификация и требования к материалам.

Строение материалов, виды химической связи между атомами в молекулах. Особенности строения твердых тел. Зонная теория твердого тела.

Методические указания

Данному разделу программы соответствует материал, изложенный в [1, с. 7–26; 2, с. 7–26; 3, с. 9–15]. При изучении данного раздела следует обратить внимание на принцип классификации материалов – за основу принимается основное свойство, благодаря которому материал используется в технике. Для диэлектриков основное свойство – способность поляризоваться, для проводников – способность очень хорошо проводить электрический ток, т.е. электропроводность, а для полупроводников – зависимость удельной электрической проводимости от внешних воздействий. При изучении химической связи надо хорошо уяснить, какие виды химической связи осуществляются в диэлектриках и полупроводниках (ковалентная связь), только в диэлектриках (ионная связь) и только в проводниках (металлическая связь).

2.2. Физические процессы в диэлектриках и их свойства

2.2.1. Поляризация диэлектриков

Механизмы поляризации. Электронная, ионная, дипольно-релаксационная, ионно-релаксационная, электронно-релаксационная, миграционная и спонтанная поляризации. Классификация диэлектриков по механизмам поляриза-

ции. Диэлектрическая проницаемость, ее физический смысл и численное значение для диэлектриков различного строения. Поляризация сегнетоэлектриков. Пьезоэлектрический эффект. Электрострикция. Электретное состояние в диэлектриках.

Методические указания

Данному разделу программы соответствует материал, изложенный в [1, с. 182–193; 2, с. 182–193; 3, 16–30]. Дополнительно следует обратиться к любому современному учебнику общей физики, раздел «Электростатика», чтобы вспомнить, что такое диэлектрическая проницаемость. Надо понять, что диэлектрическая проницаемость связана с основным свойством диэлектриков – способностью поляризоваться и, следовательно, увеличение емкости конденсатора с диэлектриком по сравнению с емкостью такого же по размерам вакуумного конденсатора обусловлено поляризацией. Рассмотрите задачу №1 в разд. 5 данного издания, а также эквивалентную схему диэлектриков с различными видами поляризации [1, рис. 6.1, с. 183; 2, рис. 6.1, с. 183; 3, рис. 1.1, с. 18]. Обратите внимание на принципиальную разницу быстрых и релаксационных видов поляризации. Материалы с релаксационными видами поляризации могут использоваться не при всех частотах из-за больших диэлектрических потерь.

Хорошо разберитесь в терминах «сегнетоэлектрики» и «пьезоэлектрики», так как эти материалы широко используются в радиотехнике в качестве активных элементов. Наряду с учебниками для изучения различных терминов обращайтесь к ГОСТ 21515-76 «Материалы диэлектрические. Термины и определения».

2.2.2. Электропроводность диэлектриков

Токи смещения и электропроводность диэлектриков. Удельная проводимость. Удельное сопротивление. Электропроводность газов, жидких и твердых диэлектриков. Объемное и поверхностное сопротивления твердых диэлектриков.

Методические указания

Данному разделу программы соответствует материал, представленный в [1, с. 193–200; 2, с. 193–200; 3, с. 30–43]. Изучая этот раздел, обратите внимание на то, что электропроводностью обладают все без исключения вещества. Диапазон удельной проводимости охватывает 23 порядка величины: от 10^6 до 10^{-17} См/м. Цифры слева дают удельную проводимость лучших проводников, справа – наилучших диэлектриков. Не путайте термины «электропроводность» и «удельная проводимость».

2.2.3. Потери в диэлектриках

Диэлектрические потери. Угол диэлектрических потерь. Тангенс угла диэлектрических потерь. Эквивалентные схемы замещения конденсатора с диэлектриком. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Коэффициент диэлектрических потерь. Виды диэлектрических потерь. Потери электропроводности, релаксационные, ионизационные и др. Диэлектрические потери в газообразных, жидких и твердых диэлектриках. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от частоты и температуры диэлектрика.

Методические указания

Данный раздел соответствует материалу, представленному в [1, с. 200–211; 2, с. 200–211; 3, с. 43–57].

Изучая этот раздел, обратите внимание на то, что диэлектрические потери могут иметь различную природу. Потери электропроводности есть как в постоянном, так и в переменном поле. Релаксационные потери – только в переменном поле. В сегнетоэлектриках существует дополнительный вид потерь – потери на гистерезис, т.е. потери, обусловленные переориентацией доменов в электрическом поле. Следует понять и уяснить, что любой реальный диэлектрик с идеальными электродами может быть представлен идеальным конденсатором, к которому параллельно или последовательно подключается резистор. На этих резисторах выделяется тепло, равное потерям в диэлектрике. Если электроды не идеальны, надо учитывать сопротивление электродов, контактов и проводников. Также следует обратить внимание на величину тангенса угла диэлектрических потерь для неполярных (высокочастотных) органических диэлектриков и для полярных (низкочастотных) органических диэлектриков и разобраться в причине большого значения тангенса угла диэлектрических потерь для полярных органических диэлектриков.

Изучите материал, представленный в [1, рис. 6.15, 6.16 или 2, рис. 6.15, 6.16], чтобы разобраться в сущности релаксационных потерь.

2.2.4. Пробой диэлектриков

Основные понятия. Пробой газов, механизм пробоя газов. Пробой газа в однородном и неоднородном полях. Пробой жидких диэлектриков. Пробой твердых диэлектриков. Электрический пробой. Тепловой пробой.

Методические указания

Данному разделу соответствует материал, изложенный в [1, с. 211–224; 2, с. 211–224; 3, с. 58–73].

Изучая явление пробоя в газах и твердых телах, особое внимание уделите следующим вопросам.

При каких условиях возникает ударная ионизация в газах и образуется лавина электронов? Какое условие должно выполняться, чтобы развитие лавины привело к пробое, т.е. переходу несамостоятельного разряда в самостоятельный? Какие особенности наблюдаются при пробое газа в неоднородном поле?

Следует хорошо разобраться в различных механизмах пробоя твердых диэлектриков. Понять, почему характеристикой твердого диэлектрика является пробивная напряженность только при электрическом пробое.

2.2.5. Физико-механические, химические и радиационные свойства диэлектриков

Отношение диэлектриков к влаге. Гигроскопичность и влагопроницаемость диэлектриков. Влажность материалов. Тепловые свойства диэлектриков. Нагревостойкость. Холодостойкость. Теплопроводность. Линейное расширение. Механические свойства диэлектриков. Прочность на разрыв, сжатие и изгиб. Хрупкость. Твердость. Вязкость.

Химические свойства диэлектриков. Устойчивость к плесени. Радиационные свойства диэлектриков.

Методические указания

Данный раздел программы изложен в [3, с. 73–86].

Обратите внимание на то, что кроме электрических свойств диэлектрических материалов важно знать их физико-механические, химические и радиационные свойства.

2.2.6. Диэлектрические материалы

Принципы классификации диэлектрических материалов. Классификация по химической природе – на органические и неорганические материалы. Классификация по возможности управления свойствами с помощью внешних энергетических воздействий: пассивные и активные диэлектрические потенциалы. Классификация по значению тангенса угла диэлектрических потерь на высокочастотные и низкочастотные материалы.

Органические диэлектрические материалы

Линейные и пространственные полимеры. Термопластичные и терморезистивные материалы. Фторсодержащие соединения. Кремнийорганические соединения.

Линейные полимеры. неполярные и полярные полимеры. Эластомеры (каучуки). Порошковые пластмассы. Пенопласты. Пропиточные материалы. Компаунды. Лаки, клеи. Бумага и электротехнический картон. Гетинакс. Текстолит и стеклотекстолит.

Неорганические диэлектрические материалы

Слюда и микалекс. Пьезокварц. Сегнетоэлектрические монокристаллы. Активные элементы оптических квантовых генераторов. Люминофоры. Стекла, их классификация. Ситаллы.

Керамика. Установочная и конденсаторная керамика. Сегнетокерамика и пьезокерамика.

Методические указания

Данному разделу соответствуют материалы, представленные в [1, с. 225–260; 2, с. 225–260; 3, с. 88–185].

Для того чтобы было легче усвоить материал этого раздела, рекомендуем изучить классификацию диэлектрических материалов [1, рис. 7.1, с. 226 или 2, рис. 7.1, с. 226]. Затем разобраться в более частной классификации на органические и неорганические диэлектрические материалы. Изучить неполярные полимеры, включая табл. 7.1, с. 232 [1] или табл. 7.1, с. 232 [2]. Обратит внимание на то, что электрические свойства этих материалов очень близки. В них происходит только электронная поляризация, и это определяет все их свойства. Так как они имеют малый тангенс угла диэлектрических потерь, их применяют в высокочастотной технике для изготовления конденсаторов, кабелей и изоляционных установочных изделий.

Затем изучить полярные органические материалы, которые тоже имеют линейную структуру, но из-за полярности тангенс угла диэлектрических потерь у них в 100 раз больше, чем у неполярных полимеров.

Все прочие органические материалы имеют еще больший тангенс угла диэлектрических потерь и применяются при изготовлении аппаратуры для самых различных целей (пресс-порошки, пропитанные вещества, компаунды, клеи, лаки и т.д.).

При изучении неорганических диэлектрических материалов надо хорошо уяснить, что они разделяются на монокристаллические и поликристаллические вещества, на природные и получаемые искусственным способом.

При изучении керамики рекомендуем обратиться к ГОСТ 20419-83 «Материалы керамические электротехнические» и постараться разобраться в принципе классификации электротехнической керамики, принятом в этом ГОСТе и соответственно на производстве.

При изучении сегнетоэлектрических материалов хорошо разобраться в вопросах об их доменной структуре, о нелинейной зависимости диэлектрической проницаемости от напряженности поля. Следует понять, почему их назы-

вают управляемыми материалами и для чего их применяют в радиотехнике и электронно-вычислительной технике. Особое внимание надо сосредоточить на изучении пьезоэлектриков – монокристалла кварца и пьезокерамики. Кроме хорошо известных кварцевых пьезоэлементов сейчас применяют пьезокерамические элементы в качестве резонаторов, трансформаторов, модуляторов и т.д. Тем, кто по условиям работы имеет отношение к применению пьезоэлектриков, рекомендуем ознакомиться с ГОСТ 18669-73 «Резонаторы пьезоэлектрические. Термины и определения». Для того чтобы содержание материала этого раздела легче поддавалось изучению, во всех случаях выделяйте главное свойство материала, благодаря которому он используется в радиотехнике, микроэлектронике, вычислительной технике и т.д.

Связывайте сведения о конкретном материале с тем, что вы изучали в подразд. 2.2 «Физические процессы в диэлектриках и их свойства».

2.3. Проводники

2.3.1. Свойства проводников

Природа электропроводности металлов. Зависимость удельного сопротивления металлов и сплавов от температуры в широком диапазоне температур. Удельное электрическое сопротивление и температурный коэффициент удельного сопротивления сплавов. Термоэлектрические свойства проводников. Относительное удлинение и прочность на разрыв металлических проводников в неотожженном и отожженном состояниях. Температурный коэффициент линейного расширения и его связь с другими температурными коэффициентами. Особенности свойств металлов в тонких слоях.

Методические указания

Данному разделу соответствует [1, с. 27–55; 2, с. 27–55; 3, с. 186–197].

Особое внимание следует обратить на изучение основных свойств проводниковых материалов – удельного электрического сопротивления, температурного коэффициента удельного электрического сопротивления, теплопроводности, термоЭДС. При изучении сплавов металлов необходимо понять, как влияет на величину удельного сопротивления процентное соотношение компонентов.

Изучая механические свойства металлов, надо усвоить механические характеристики металлов – твердость, предел упругости, предел текучести, предел прочности и т.д.

Вопрос об электрических свойствах металлов нужно увязать со сведениями об их строении. Так, ссылка на кристаллическую структуру металлов позволяет объяснить, почему наличие примесей, нарушающих кристаллическую решетку, приводит к значительным изменениям электрических и механических характеристик металлов. Необходимо уяснить, как нарушение структуры кри-

сталлической решетки позволяет объяснить возрастание электрического сопротивления проводника с ростом температуры.

2.3.2. Проводниковые материалы

Классификация проводниковых материалов. Материалы высокой проводимости. Медь, алюминий и их сплавы. Сверхпроводящие материалы и сплавы. Сплавы высокого электрического сопротивления. Подразделения сплавов по применению. Экономические требования к сплавам для реостатов и нагревательных приборов. Сплавы типа манганин и константан. Хромоникелевые и хромоалюминиевые сплавы. Контактные материалы. Проводниковые материалы в микроэлектронике.

Методические указания

Данному разделу соответствуют [1, с. 56–89; 2, с. 56–89; 3, с. 198–229].

При изучении этого раздела необходимо уяснить, какие материалы относятся к группе материалов высокой проводимости и высокого удельного сопротивления.

2.4. Полупроводники

2.4.1. Свойства полупроводников

Особенности электропроводности полупроводников. Примеси в полупроводниках и виды носителей заряда в них. Температурная зависимость удельной проводимости и ее практическое значение. Генерация неравновесных носителей заряда.

Рекомбинация носителей. Время жизни. Спектральная характеристика фотопроводимости собственных и примесных полупроводников. Световая характеристика фотопроводимости.

Методические указания

Данному разделу программы соответствует материал, изложенный в [1, с. 90–132; 2, с. 90–132; 3, с. 229–251].

Следует понять, что основное свойство полупроводников – зависимость их удельного электрического сопротивления от внешних воздействий: температуры, освещенности и напряженности электрического поля. Собственная электропроводность возникает в полупроводниках при разрыве ковалентной связи, приводящей к образованию двух свободных носителей заряда – электрона проводимости и положительно заряженной дырки проводимости. Этот процесс носит название генерации электронно-дырочных пар. Полупроводник, в котором

электропроводность возникает за счет разрыва собственных ковалентных связей, называют собственным.

Примесная электропроводность возникает в полупроводниках в том случае, когда источником свободных носителей заряда являются примеси.

Примеси, вызывающие появление в полупроводнике дополнительных свободных электронов, называют донорными, а обусловленную ими электропроводность – электронной.

Примеси, вызывающие появление в полупроводнике дополнительных дырок проводимости, называют акцепторными, а обусловленную ими электропроводность – дырочной.

Соответственно полупроводники с преобладанием электронной электропроводности называют электронными (или n-типа), а полупроводники с преобладанием дырочной электропроводности – дырочными (или p-типа).

Например, для германия и кремния донорными примесями являются сурьма или фосфор, акцепторными примесями являются индий, бор.

Необходимо усвоить, что с ростом температуры удельная проводимость всех полупроводников возрастает, причем она будет расти тем сильнее, чем больше донорной или акцепторной примеси введено в полупроводник.

При рассмотрении зависимости $\ln g = f\left(\frac{1}{T}\right)$ необходимо выделить области примесной и собственной проводимости.

2.4.2. Полупроводниковые материалы

Классификация полупроводниковых материалов. Их роль в развитии радиотехники. Простые полупроводники. Германий, кремний, селен. Полупроводниковые химические соединения $A^{IV}B^{IV}$ (карбид кремния). Соединения $A^{III}B^V$. (Антимонид индия, арсенид галлия, фосфид галлия и др.). Соединения $A^{II}B^{VI}$ и др. Примеры применения полупроводниковых материалов.

Методические указания

Данному разделу соответствует материал, представленный в [1, с. 133–181; 2, 133–181; 3, с. 251–266]. При изучении этого раздела необходимо особое внимание обратить на свойства германия и кремния, уяснить методы получения и области применения этих материалов. Следует усвоить, что ширина запрещенной зоны определяет рабочую температуру p-n-переходов.

$$\Delta W_{Ge} = 0,75 \text{ эВ}, T_{раб} = 80 \text{ }^\circ\text{C}, \Delta W_{Si} = 1,12 \text{ эВ}, T_{раб} = 200 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Для расширения температурного диапазона полупроводниковых приборов в технике применяют материалы с большей шириной запрещенной зоны,

такие как арсенид галлия ($\Delta W_{GaAs} = 1,45$ эВ, $T_{раб} = 500^\circ\text{C}$) и карбид кремния ($\Delta W_{SiC} = 3,2$ эВ, $T_{раб} = 800^\circ\text{C}$).

2.5. Магнитные материалы

2.5.1. Общие свойства магнитных материалов

Деление веществ по магнитным свойствам на диамагнитные, парамагнитные, ферромагнитные, антиферромагнитные, ферримагнитные. Их особенности.

Причины возникновения магнитных свойств вещества. Особенности магнетиков: спонтанная намагниченность, доменная структура, магнитная анизотропия, температура Кюри.

Процессы намагничивания под влиянием внешнего поля: процесс смещения границ доменов и процесс вращения (ориентации) векторов магнитных моментов.

Магнитострикция. Кривая намагничивания. Относительная магнитная проницаемость (начальная, максимальная). Дифференциальная магнитная проницаемость. Зависимость магнитной проницаемости от напряженности внешнего магнитного поля, частоты и температуры. Температурный коэффициент магнитной проницаемости. Практическое значение этой характеристики. Гистерезис. Предельный цикл намагничивания. Магнитное насыщение. Остаточная индукция, коэрцитивная сила. Различие между магнитомягкими и магнитотвердыми материалами. Потери энергии при перемагничивании в переменном магнитном поле (потери на гистерезис и динамические потери на вихревые токи). Зависимость мощности потерь на гистерезис и вихревые токи от частоты приложенного поля и свойств магнитного материала (электрического сопротивления, толщины, плотности). Характеристики потерь для высокочастотных магнитных материалов (тангенс угла магнитных потерь). Особенности ферримагнетиков (магнитные подрешетки, точка компенсации, зависимость магнитной индукции от температуры). Ферриты.

Общая классификация магнитных материалов. Деление их на магнитомягкие, магнитотвердые и материалы специализированного назначения.

Методические указания

Данному разделу соответствует материал, изложенный в [1, с. 296–326; 2, с. 296–326; 3, с. 267–275].

При изучении этого материала следует четко уяснить себе, откуда возникают магнитные свойства всех веществ в природе. Причины следует искать, во-первых, в наличии магнитных моментов у атомов веществ и, во-вторых, во взаимодействии этих атомов внутри веществ.

Магнитный момент любого атома вычисляется как векторная сумма трех моментов: 1) магнитного момента спина электронов; 2) орбитального магнит-

ного момента электронов; 3) магнитного момента атомных ядер. Если при сложении оказывается, что суммарный магнитный момент атома равен нулю, то вещество, состоящее из таких атомов, диамагнитно. Если же суммарные магнитные моменты атомов отличны от нуля, то магнитные свойства веществ зависят от взаимодействия между атомами, а именно: если это взаимодействие очень мало или практически отсутствует, то такие вещества парамагнитны; если между атомами существует сильное электростатическое взаимодействие, то оно приводит к параллельной или антипараллельной ориентации их магнитных моментов.

В первом случае мы имеем ферромагнитные вещества, во втором – антиферромагнитные. При этом если антипараллельные магнитные моменты соседних атомов в антиферромагнетиках неодинаковы по величине, то такие вещества называются ферримагнитными. Только ферромагнитные и ферримагнитные вещества обладают спонтанной намагниченностью и именно они используются в качестве магнитных материалов, так как способны намагничиваться во внешнем поле. Магнитный момент спонтанной намагниченности у них настолько велик, что при помещении во внешнее магнитное поле величина его не может измениться, а меняется только его ориентация: он ориентируется в направлении внешнего поля. Процесс этой ориентации сопровождается потерями энергии и описывается кривой намагничивания, которая является важнейшей технической характеристикой магнитных материалов, так как описывает их поведение во внешнем магнитном поле. По этой кривой определяют их основные характеристики – магнитную проницаемость, индукцию насыщения, остаточную индукцию, коэрцитивную силу, магнитные потери.

По форме кривые намагничивания одинаковы для магнитомягких и магнитотвердых материалов; эти материалы отличаются друг от друга по количественным характеристикам: у магнитомягких высокая магнитная проницаемость, малые потери на перемагничивание, малая коэрцитивная сила; у магнитотвердых – низкая магнитная проницаемость, большие потери на перемагничивание, большая коэрцитивная сила. Такая разница объясняется различием в ходе процесса намагничивания у этих двух групп материалов: у магнитомягких преобладают процессы смещения границ доменов, происходящие с меньшими затратами энергии; у магнитотвердых – процессы вращения (ориентации) векторов магнитных моментов, требующие больших затрат энергии.

2.5.2. Магнитомягкие материалы

Особенности свойств магнитомягких материалов и область их применения. Способы уменьшения потерь на вихревые токи в конструкциях из магнитомягких материалов. Низкочастотные магнитомягкие материалы. Железо (электролитическое, карбонильное, технически чистое) и низкоуглеродистые стали. Способы получения и область применения.

Кремнистая электротехническая сталь. Влияние добавки кремния на ее свойства. Зависимость плотности и электрического сопротивления стали от

степени легирования ее кремнием. Текстурованная сталь, ее особенности. Обозначение сталей в ЕСКД.

Низкокоэрцитивные сплавы – пермаллои, альсиферы. Состав и особенности свойств пермаллоев. Высоконикелевые и низконикелевые пермаллои. Зависимость относительной магнитной проницаемости, коэрцитивной силы и удельного электрического сопротивления пермаллоев от содержания никеля. Зависимость магнитной проницаемости пермаллоев от частоты.

Влияние легирующих добавок (молибдена, хрома, меди, кремния, марганца) на свойства пермаллоев.

Маркировка пермаллоев. Конструкции, в которых применяют высоконикелевые и низконикелевые пермаллои. Состав и свойства альсиферов, особенности применения их в изделиях.

Высокочастотные магнитомягкие материалы. Общие требования к этой группе материалов.

Магнитодиэлектрики. Материалы, применяемые в качестве ферромагнитной основы магнитодиэлектриков. Связующие вещества, применяемые в магнитодиэлектриках.

Требования к магнитодиэлектрикам. Суммарные потери мощности в магнитодиэлектриках. Влияние этих потерь на активное сопротивление катушки индуктивности с сердечником из магнитодиэлектрика.

Зависимость потерь в магнитодиэлектриках от размера частиц ферромагнитного порошка. Величина магнитной проницаемости магнитодиэлектриков. Добротность катушек индуктивности с магнитодиэлектрическими сердечниками. Причины старения изделий из магнитодиэлектриков. Области применения и особенности свойств сердечников на основе карбонильного железа, альсифера и молибденового пермаллоя.

Ферриты. Величина удельного электрического сопротивления ферритов. Химический состав и структура ферритов-шпинелей. Прямая и обращенная шпинель.

Немагнитные ферриты. Технология изготовления ферритов. Недостатки механических свойств ферритов по сравнению с металлическими магнитомягкими материалами.

Классификация ферритов в зависимости от области применения. Магнитомягкие ферриты, низкочастотные (Н) и высокочастотные (ВЧ). Их маркировка. Граничная частота ферритов, критическая частота. Зависимость магнитной проницаемости и тангенса угла суммарных потерь ферритов от частоты. Зависимость начальной магнитной проницаемости от температуры для никель-цинковых и марганцево-цинковых ферритов.

Относительная диэлектрическая проницаемость ферритов. Изделия, изготавливаемые из Н- и ВЧ-ферритов.

Ферриты СВЧ. Принципы их использования в волноводах СВЧ (магнитооптический эффект Фарадея, эффект ферромагнитного резонанса, изменение внешним полем значения магнитной проницаемости феррита).

Технические требования к свойствам ферритов СВЧ, их химический состав, особенности феррогранатов.

Методические указания

Разделу «Магнитомягкие материалы» соответствует материал, изложенный в [1, с. 326–344; 2, 326–344; 3, с. 275–281].

Основными техническими характеристиками этой группы материалов являются: относительная магнитная проницаемость, индукция насыщения, коэрцитивная сила, магнитные потери. Требования к этим характеристикам зависят от области применения материалов; низкочастотные магнитомягкие материалы, работающие в переменных магнитных полях промышленной частоты, должны иметь высокую магнитную проницаемость, высокую индукцию насыщения, малые потери и низкую коэрцитивную силу. Высокочастотные магнитные материалы должны обладать особо низкими потерями на перемагничивание и высокой стабильностью магнитных характеристик. Особо низкие потери обеспечиваются применением материалов с очень высоким электрическим сопротивлением.

2.5.3. Магнитные материалы специализированного назначения

Ферриты с прямоугольной петлей гистерезиса (ППГ), их химический состав, основные характеристики (коэффициент прямоугольности петли гистерезиса, коэффициент переключения). Зависимость коэрцитивной силы, остаточной индукции и коэффициента прямоугольности ферритов от температуры. Ленточные микронные сердечники из пермаллоев с ППГ, их преимущества и недостатки в сравнении с ферритами.

Тонкие ферромагнитные пленки, их особенности. Тонкие пленки с цилиндрическими магнитными доменами.

Преимущества тонких пленок по сравнению с массивными ферромагнитными образцами.

Магнитострикционные материалы. Зависимость магнитострикционной деформации от напряженности магнитного поля. Термомагнитные материалы, зависимость магнитной индукции в них от температуры.

Сплавы с постоянной магнитной проницаемостью в слабых полях.

Методические указания

Теме «Магнитные материалы специализированного назначения» соответствует материал, изложенный в [1, с. 344–348; 2, с. 344–348; 3, с. 281–291].

Необходимо обратить внимание на технические характеристики этих материалов и особенности применения, зависящие от их состава и свойств. Области применения этих материалов – узкоспециальные. У каждого из них используется какое-либо одно особое свойство: у термомагнитных – зависимость индукции от температуры, у магнитострикционных – большая величина магнитострикции, у материалов с ППГ – форма петли гистерезиса.

Наличие особых свойств обеспечивается специальным составом и обработкой этих материалов.

2.5.4. Магнитотвердые материалы

Особенности характеристик магнитотвердых материалов по сравнению с магнитомягкими. Деление магнитотвердых материалов по применению, составу и способу получения.

Технические характеристики магнитотвердых материалов: коэрцитивная сила, остаточная индукция, максимальная энергия, отдаваемая магнитом во внешнее пространство. Расчет удельной энергии в зазоре постоянного магнита по кривой размагничивания.

Легированные мартенситные стали, их свойства, состав, маркировка. Литые высококоэрцитивные сплавы. Зависимость их магнитных свойств от состава и специальной обработки. Современная маркировка этих сплавов.

Магниты из порошков. Преимущества изготовления порошковых магнитов по сравнению с литыми. Металлокерамические и металлопластические магниты. Магнитотвердые ферриты; особенности бариевых и кобальтовых магнитов.

Металлические и неметаллические материалы для звукозаписи. Сплав ви-каллой.

Двухслойные и однослойные пленки для магнитной записи. Новые магнитотвердые материалы на основе редкоземельных металлов, их преимущества.

Методические указания

Теме «Магнитотвердые материалы» соответствует материал, изложенный в [1, с. 349–358; 2, с. 349–358; 3, с. 291–298]. При изучении данного раздела необходимо обратить внимание на основные характеристики этой группы материалов – коэрцитивную силу, остаточную индукцию и максимальную энергию в зазоре постоянных магнитов. Основные требования к этой группе материалов: высокая коэрцитивная сила, высокая остаточная индукция и как можно большая величина энергии в зазоре постоянного магнита. Выполнение этих требований обеспечивается составом и структурой этих материалов, специальной термической обработкой, применением легирующих добавок.

3. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ И ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

3.1. Диэлектрические материалы

3.1.1. Поляризация диэлектриков

1. Какие вещества называются диэлектриками? Какие материалы называются диэлектрическими?

Определение давать в соответствии с ГОСТ.

Объяснить разницу понятий «диэлектрик» и «диэлектрический материал».

Подчеркнуть, какой ток в диэлектрике преобладает – реактивный или активный.

Дать определение диэлектриков по зонной теории.

2. Как классифицируются диэлектрики по строению молекул?

Сказать о симметрично и несимметрично построенных молекулах с ковалентной связью.

Дать определение собственного электрического момента молекулы.

Сказать об ионной связи.

Написать несколько формул молекул, из которых состоят неполярные, полярные и ионные диэлектрики.

3. Что называется электрической поляризацией диэлектриков?

Дать общее определение электрической поляризации.

Перечислить все виды электрической поляризации.

Обратить внимание на то, что электрическая поляризация может возникать и без воздействия электрического поля на диэлектрик.

4. Как классифицируется поляризация по времени установления?

Объяснить, почему для применения диэлектрических материалов в радиотехнике важно время установления поляризации.

5. Что такое абсолютная и относительная диэлектрическая проницаемость?

Вспомнить из курса физики и электротехники, в чем заключается физический смысл этих понятий.

Уяснить, что значение диэлектрической проницаемости определяется главным образом механизмами поляризации и зависит от агрегатного состояния вещества.

Выписать из учебников или справочников значение относительной диэлектрической проницаемости наиболее известных вам диэлектриков.

Продумать ответ на вопрос, почему емкость конденсатора с диэлектриком больше, чем емкость конденсатора без диэлектрика при одинаковых размерах?

Что называется температурным коэффициентом диэлектрической проницаемости? В каких единицах он измеряется?

Как на практике измерить диэлектрическую проницаемость и температурный коэффициент диэлектрической проницаемости?

Почему для изготовления колебательного контура необходимо брать конденсатор с малым температурным коэффициентом диэлектрической проницаемости?

6. Что называется электронной поляризацией?

Дать формулировку и нарисовать модель поляризации.

Записать время установления электронной поляризации.

Вплоть до каких частот электронная поляризация является безынерционной?

Зная предельную частоту (порядок ее величины), рассчитать время установления электронной поляризации.

В каких диэлектриках происходит только электронная поляризация?

Порядок величины диэлектрической проницаемости для неполярных газов, жидкостей и твердых диэлектриков.

Зависит ли диэлектрическая проницаемость от частоты приложенного поля для диэлектриков только с электронной поляризацией?

Есть ли диэлектрики, в которых не происходит электронная поляризация?

Какой знак имеет температурный коэффициент диэлектрической проницаемости для неполярных диэлектриков?

Назвать пять органических неполярных диэлектриков.

Связана ли электронная поляризация с диэлектрическими потерями?

7. Что называется ионной поляризацией?

Дать определение и нарисовать модель поляризации.

Привести примеры диэлектриков, в которых происходит ионная поляризация.

Привести примеры диэлектрических материалов с ионной поляризацией.

Сравнить время установления ионной поляризации с временем установления электронной поляризации.

Как найти вклад ионной поляризации в диэлектрическую проницаемость, если известен коэффициент преломления света для этого диэлектрика?

8. Что такое релаксационная поляризация?

Что означает слово «релаксация»?

Какие виды релаксационной поляризации существуют?

В чем отличие релаксационных видов поляризации от мгновенных?

Изобразить графически, как меняется поляризованность при релаксационной поляризации во времени при приложении постоянного электрического поля.

Что такое время релаксации?

Зависит ли диэлектрическая проницаемость материала с релаксационной поляризацией от частоты?

9. Что такое спонтанная поляризация?

Какие диэлектрики называются сегнетоэлектриками?

Что такое домены?

Назвать примеры распространенных сегнетоэлектриков.

На примере титаната бария объяснить спонтанную поляризацию.

Что такое точка Кюри?

В чем заключается поляризация сегнетоэлектриков во внешнем электрическом поле?

Почему поляризацию сегнетоэлектриков называют нелинейной?

Почему сегнетоэлектрики называют активными диэлектриками?

Как зависит диэлектрическая проницаемость сегнетоэлектриков от температуры?

Как зависит диэлектрическая проницаемость от напряженности электрического поля?

Как зависит емкость конденсатора из сегнетоэлектрика от температуры и приложенного напряжения?

10. Какое явление называется пьезоэлектрическим эффектом?

Изобразить кристалл кварца и объясните на нем пьезоэлектрический эффект.

В каких кристаллах, кроме кварца, наблюдается пьезоэлектрический эффект?

Что такое прямой продольный и прямой поперечный пьезоэлектрический эффект?

Что такое обратный пьезоэлектрический эффект?

Что такое пьезомодуль? Сравнить значение пьезомодуля для кварца, титаната бария и сегнетовой соли.

После какой обработки поликристаллический образец титаната бария приобретает пьезоэлектрические свойства?

Назвать области применения пьезоэлектриков.

Как пьезоэлектрический эффект используется в радиотехнике?

11. Что такое миграционная поляризация?

В каких диэлектриках происходит миграционная поляризация?

Почему для изготовления деталей, работающих при высоких частотах, надо избегать неоднородных диэлектриков?

3.1.2. Электропроводность диэлектриков

12. Что происходит в диэлектрике, если его включить на постоянное напряжение?

Что такое ток смещения?

Что такое ток абсорбции?

Что такое сквозной ток?

Что такое ток утечки?

Нарисовать график зависимости тока от времени и обозначить участки, соответствующие вышеперечисленным токам.

13. Что называется электропроводностью вещества?

Дать определение электропроводности.

Отметить, что электропроводность – универсальное свойство всех тел и объяснить почему.

Чем обусловлена электропроводность диэлектриков?

Какие носители заряда могут создавать электропроводность в диэлектриках?

14. Что такое удельная проводимость?

Уяснить различие в терминах «электропроводность» и «проводимость».

Какой физический смысл имеет удельная проводимость? В каких единицах ее измеряют?

15. Электропроводность воздуха.

К какой группе диэлектриков относится воздух?

За счет чего в воздухе всегда есть носители заряда?

Что такое рекомбинация ионов?

Назвать приблизительно, сколько пар «электрон + ион» находится в метре кубическом воздуха при нормальных условиях.

Нарисовать график зависимости плотности тока от напряженности поля для газов (ВАХ).

Показать участок характеристики, где выполняется закон Ома.

Почему наступает насыщение?

Назовите порядок величины тока насыщения в воздухе при нормальных условиях.

16. Электропроводность твердых диэлектриков.

Основные носители заряда в диэлектриках.

Объемная и поверхностная электропроводности твердых диэлектриков.

Объемная и поверхностная удельные проводимости твердых диэлектриков. Их единицы измерения.

Удельное объемное и поверхностное сопротивления твердых диэлектриков.

Как измеряют r_v и r_s ?

В чем сущность метода «вольтметра-амперметра»?

Какую роль при измерении r_v и r_s играет охранное кольцо?

Почему отсчет тока надо производить через одну минуту после подключения образца к источнику напряжения?

Назвать диапазон значений γ для различных диэлектриков.

Как зависит γ от природы диэлектрика и от влажности окружающего воздуха?

Как защитить поверхность диэлектрика от влаги с целью увеличения r_s ?

3.1.3. Диэлектрические потери

17. Что называют диэлектрическими потерями?

За счет чего нагревается диэлектрик, находящийся в постоянном поле? Как эти потери называются?

Написать формулу потерь за счет электропроводности.

Зависят ли потери электропроводности от частоты поля?

За счет чего нагревается диэлектрик, находящийся в переменном поле?

Как называются потери энергии в диэлектрике, происходящие за счет релаксационных видов поляризации?

Из каких частей складываются потери в диэлектрике, находящемся в переменном поле?

18. Угол диэлектрических потерь.

Проанализировать, какие токи текут через диэлектрик, находящийся в переменном поле.

Каковы основные составляющие реактивного тока?

Основные составляющие активного тока.

Что такое угол диэлектрических потерь?

19. Что называется тангенсом угла диэлектрических потерь?

Обратить внимание, что $tg\delta$ – очень важная характеристика диэлектрика в переменном электрическом поле.

20. Эквивалентные схемы замещения диэлектрика.

В чем смысл эквивалентных схем замещения?

Параллельно-емкостная и последовательная схемы замещения диэлектрика.

Условия эквивалентности схемы реальному диэлектрику.

Условия эквивалентности схем друг другу.

Векторная диаграмма для параллельно-емкостной схемы замещения.

Вывод формул для $tg\delta$ и диэлектрических потерь для параллельной схемы замещения.

Векторная диаграмма для последовательной схемы замещения.

Вывод формул для $tg\delta$ и диэлектрических потерь для последовательной схемы замещения.

Можно ли по формулам для $tg\delta$ в параллельной и последовательной схемах замещения определять зависимость его от частоты?

Разобрать зависимость $tg\delta$ и диэлектрических потерь от частоты для неполярных диэлектриков.

Разобрать зависимость $tg\delta$ и диэлектрических потерь от частоты для полярных диэлектриков с релаксационной поляризацией.

Чем определяются диэлектрические потери в воздухе?

3.1.4. Пробой диэлектриков

21. Что такое пробой диэлектриков?

Что такое пробивное напряжение?

Что такое пробивная напряженность?

22. Что такое пробой воздуха?

Что такое ударная ионизация?

Что такое потенциал ионизации молекул газа? Чему равен потенциал ионизации для O_2 и N_2 ?

При каких условиях начинается ударная ионизация?

Что такое лавина электронов?

Почему образования лавины еще недостаточно для стационарного пробоя газа?

Какие процессы на электродах и в объеме газа поддерживают лавину?

В чем сущность стримерной теории пробоя газа?

23. Что такое пробой газа в однородном и неоднородном электрических полях?

Как зависит электрическая прочность газов от расстояния между электродами в однородном поле?

Нарисовать кривую закона Пашена и объяснить его смысл.

Что такое коронный разряд и при каких условиях он возникает?

Как зависит пробивное напряжение от полярности электродов в неоднородном поле? Какие выводы из этого надо сделать в случае, если в реальных условиях нельзя избежать неоднородности поля?

24. Пробой твердых диэлектриков.

Указать все механизмы пробоя твердых диэлектриков.

Описать электрический пробой.

Описать тепловой пробой.

Для каких образцов диэлектрика можно использовать формулу, полученную А. А. Фоком и Н. Н. Семеновым?

Почему электрической прочностью называют минимальную напряженность однородного поля, при которой пробивается диэлектрик механизмом электрического пробоя?

Обратить внимание, что электрическая прочность является важной характеристикой диэлектрика, работающего при высоких напряжениях.

3.1.5. Физико-механические, химические и радиационные свойства диэлектриков

25. Что такое гигроскопичность и влагопроницаемость диэлектриков?

Почему попадание влаги в диэлектрики ухудшает их свойства?

Как влияет увеличение влажности на удельную проводимость, тангенс угла диэлектрических потерь и диэлектрическую проницаемость?

Для каких материалов – неполярных или полярных – удельное поверхностное сопротивление сильнее зависит от влажности окружающей среды?

Какие диэлектрики являются гидрофобными, а какие гидрофильными?

26. Какие свойства диэлектриков относятся к тепловым?

Перечислить все тепловые свойства диэлектрических материалов.

Что такое нагревостойкость?

Как ее определяют для органических и неорганических материалов?

Почему важно знать нагревостойкость материалов?

Что такое тепловое старение изоляции?

Что такое холодостойкость?

Почему важно знать теплопроводность диэлектрических материалов?

Почему важно знать температурный коэффициент линейного расширения диэлектрических материалов?

27. Механические свойства диэлектрических материалов.

Перечислить свойства диэлектрических материалов.

Перечислить механические свойства и почему их надо знать.

28. Химические свойства и устойчивость к плесени диэлектриков.

Почему надо знать эти свойства?

29. Радиационные свойства диэлектриков.

3.1.6. Разновидности диэлектрических материалов

Вопросы этого подраздела относятся непосредственно к диэлектрическим материалам. Ответы на эти вопросы желательно формировать следующим образом:

записать химическую и структурную формулы или основной элемент формулы;

указать, к какой группе по строению молекул относится материал или группа материалов;

какой вид поляризации в нем происходит;

электрические свойства;

физико-химические свойства;

области применения.

30. Материалы с малыми диэлектрическими потерями (неполярные диэлектрики).

31. Материалы с повышенными диэлектрическими потерями (полярные диэлектрики).

32. Каучуки.

33. Синтетические смолы.

34. Компаунды.

35. Лаки, клеи.

36. Конденсаторная бумага.

37. Слоистые пластики.

38. Слюда и микалекс.

39. Пьезоэлектрические материалы.

40. Сегнетоэлектрики.

41. Стекла.

42. Ситаллы.

43. Керамика.

3.2. Проводниковые материалы

3.2.1. Основные свойства проводниковых материалов

44. Какие вещества называют проводниками? Какие материалы называют проводниковыми?

Определение дать в соответствии с ГОСТ.

Дать определение проводников по зонной теории.

45. Электропроводность проводниковых материалов.

Какие частицы являются свободными носителями заряда в металлах?

Дать определение удельной электрической проводимости.

Проанализировать зависимость удельной проводимости проводников от температуры.

46. Удельное электрическое сопротивление.

Дать определение удельного электрического сопротивления.

Рассмотреть, как классифицируют проводниковые материалы по величине удельного сопротивления.

Объяснить, почему на высоких частотах удельное сопротивление проводников увеличивается.

47. Температурный коэффициент удельного сопротивления проводников.

Записать формулу, по которой вычисляют температурный коэффициент удельного сопротивления.

Объяснить, почему ТК_r металлов положительный.

Чему равен ТК_r для большинства чистых металлов в нормальных условиях?

Какие сплавы обладают значениями ТК_r, близкими к нулю?

48. ТермоЭДС.

Для каких целей подбирают проводниковые материалы с большим по величине, постоянным в широком температурном диапазоне и стабильным во времени коэффициентом термоЭДС?

Для каких целей применяют проводниковые материалы с малым коэффициентом термоЭДС?

49. Коэффициент теплопроводности.

Объяснить физический смысл коэффициента теплопроводности металлов.

Показать, что коэффициент теплопроводности металлов прямо пропорционален их удельной проводимости.

3.2.2. Классификация проводниковых материалов

50. Материалы высокой проводимости.

Перечислить материалы, которые относятся к этой группе.

Какие требования предъявляются к материалам высокой проводимости?

Рассмотреть основные свойства меди, алюминия, серебра и сплавов на основе этих материалов.

Указать достоинства и недостатки этих материалов с точки зрения применения их в качестве проводников электрического тока.

Привести числовые значения основных электрофизических параметров для материалов высокой проводимости.

Описать явление сверхпроводимости и возможности его практического использования.

Перечислить материалы, которые обладают свойствами сверхпроводимости.

51. Материалы высокого удельного сопротивления.

Перечислить материалы, которые относятся к этой группе.

Какие требования предъявляются к этим материалам?

Указать достоинства и недостатки этих материалов с точки зрения применения их в качестве резисторов.

Отметить особые требования, которые предъявляются к материалам для нагревательных элементов и к материалам для термопар.

Описать основные свойства резистивных материалов и сплавов на их основе.

Указать величину удельного сопротивления этих материалов и области их применения.

52. Проводниковые материалы в радиотехнике.

Перечислить основные требования, которые предъявляются к материалам высокой проводимости, используемым в радиотехнике. Назвать эти материалы, описать их достоинства и недостатки.

Перечислить основные требования, предъявляемые к резистивным материалам, которые используются в микроэлектронике. Описать основные свойства резистивных материалов на основе чистых металлов, сплавов и керметов.

3.3. Полупроводниковые материалы

3.3.1. Основные свойства полупроводников

53. Какие вещества называются полупроводниками? Какие материалы называются полупроводниковыми?

Дать определение в соответствии с ГОСТ.

Дать определение полупроводников по зонной теории.

54. Электропроводность полупроводников.

Объяснить, что такое собственная электропроводность полупроводника.

Что такое примесная электропроводность?

Проанализировать зависимость удельной проводимости полупроводников от температуры, освещенности, напряженности электрического поля при различных температурах. В каких приборах находят применение эти свойства полупроводников?

Как влияют примеси на удельную проводимость полупроводников?

55. P-n-переход в полупроводниках.

Дать представление о контактной разности потенциалов и явлениях диффузии электронов из полупроводника n-типа, где их концентрация выше, в полупроводник p-типа, где их концентрация ниже.

Показать, что наряду с диффузией электронов из полупроводника n-типа происходит диффундирование дырок из полупроводника p-типа в полупроводник n-типа.

Объяснить механизм образования на границе полупроводников p- и n-типа двойного электрического слоя.

Рассмотреть явления в полупроводниках, связанные с прохождением тока через p-n-переход: выпрямление и усиление электрических сигналов, туннельный эффект, люминесценция.

3.3.2. Классификация полупроводниковых материалов

56. Полупроводники – простые химические элементы.

Описать структуру, методы получения, основные свойства и области применения германия, кремния, селена.

Указать рабочую температуру р-п-переходов для каждого материала.

57. Полупроводники – сложные химические соединения.

Описать структуру, методы получения, основные свойства и области применения соединений группы $A^{III}B^V$ (нитридов, фосфидов, арсенидов и антимонидов).

Указать рабочую температуру р-п-перехода для приборов на основе арсенида галлия.

Описать структуру, методы получения, основные свойства и области применения соединений группы $A^{II}B^{VI}$ (теллуридов, селенидов, сульфидов).

Указать рабочую температуру полупроводниковых приборов на основе карбида кремния.

3.4. Магнитные материалы

При ответах на эти вопросы, кроме [1–3], рекомендуется использовать ГОСТ 19693-74 «Материалы магнитные. Термины и определения», а также [4, т. 3].

58. Дать общую классификацию веществ по магнитным свойствам.

Каковы причины возникновения магнитных свойств веществ?

Почему возникает магнитный момент атома?

Какие вещества являются диамагнитными?

Какие вещества являются парамагнитными?

Каковы особенности ферромагнитных и ферримагнитных веществ?

Какие вещества применяются в качестве магнитных материалов и почему?

59. Перечислить основные особенности магнитных материалов.

Что такое спонтанная намагниченность?

Что такое магнитные домены? Почему они образуются?

Что называется температурой Кюри? Чему она равна для различных магнитных материалов?

Что такое магнитная анизотропия? Как она используется в практике применения магнитных материалов?

60. Описать процесс намагничивания магнитного материала во внешнем постоянном магнитном поле.

Что такое процесс смещения границ доменов?

Что такое процесс вращения (ориентации магнитных моментов)?

Что называется основной кривой намагничивания?

Какие участки кривой намагничивания соответствуют процессам смещения и вращения?

Что такое магнитный гистерезис? Каковы его причины?

Что такое коэрцитивная сила, остаточная индукция, индукция насыщения?

61. Что такое относительная магнитная проницаемость?

Как вычисляется относительная магнитная проницаемость по основной кривой намагничивания?

Как зависит относительная магнитная проницаемость от напряженности приложенного поля?

Что такое начальная и максимальная магнитная проницаемости?

К какому пределу стремится магнитная проницаемость в сильных магнитных полях?

Каково практическое значение этой характеристики и чему она равна (приведите числовые значения) для железа, электротехнической стали, пермаллоев, ферритов, магнитотвердых материалов?

Что такое температурный коэффициент магнитной проницаемости?

62. Что такое магнитные потери?

Каковы причины возникновения магнитных потерь?

Как вычисляется мощность магнитных потерь? Как она зависит от частоты приложенного поля?

Каким показателем оцениваются магнитные потери в высокочастотных материалах (ферритах, магнитодиэлектриках)?

Какие способы уменьшения магнитных потерь применяются на практике (в материалах и в конструкциях магнитопроводов)?

63. Начертить общую таблицу с классификацией магнитных материалов.

Объяснить разницу между магнитомягкими и магнитотвердыми материалами.

64. Что такое магнитомягкие материалы?

Перечислить основные характеристики магнитомягких материалов.

Назвать основные требования к этой группе материалов.

Какие материалы относятся к магнитомягким?

В каких конструкциях применяются магнитомягкие материалы, для каких изделий?

65. Назвать основные сорта железа, применяемого в качестве магнитного материала.

Каковы способы получения различных сортов железа?

Каковы их основные характеристики?

Какова область применения технически чистого железа, почему?

66. Что такое кремнистая электротехническая сталь?

Для чего добавляется кремний и в каком количестве?

Как зависят плотность и удельное сопротивление стали от содержания кремния?

Что такое текстурованная сталь, какие выгоды дает применение такой стали?

Как маркируется электротехническая сталь?

Для каких изделий она применяется?

67. Что такое пермаллой?

Каков состав этих сплавов?

Как зависят их магнитные характеристики (μ , H_c , B_s) от содержания никеля?

Каковы достоинства и недостатки пермаллоев?

Для чего вводятся легирующие добавки Mo, Cr, Cu, Si, Mn ?

В каких изделиях применяются пермаллои, как маркируются?

68. Что такое сплав альсифер?

Каков состав сплава?

Каковы его характеристики (μ , H_c , ρ)?

Каковы его достоинства, недостатки и область применения?

69. Что такое высокочастотные магнитомягкие материалы?

При каких частотах должны работать эти материалы?

Какие требования предъявляются к этой группе материалов?

Описать химический состав этих материалов.

70. Что такое магнитодиэлектрики?

Описать способ их получения.

Какие требования предъявляются к магнитной основе и связующим веществам? Какие это вещества?

Из чего складываются суммарные потери мощности в магнитодиэлектриках? Как можно уменьшить эти потери?

Почему эффективная магнитная проницаемость магнитодиэлектриков значительно меньше проницаемости составляющего его ферромагнетика?

Для чего катушка индуктивности сворачивается в спираль?

Какой эффект дает введение магнитодиэлектрического сердечника в катушку индуктивности?

Какие сердечники наиболее широко используются в промышленности? Каковы их особенности и маркировка?

71. Что такое ферриты?

Объяснить основные особенности ферромагнетиков.

Нарисовать зависимость индукции от температуры для ферритов. Что такое точка компенсации?

Каков состав и структура ферритов-шпинелей? Что такое прямая и обратная шпинель? Какая из них магнитна?

Описать технологию изготовления ферритов.

Дать классификацию ферритов по применению.

72. Описать основные свойства магнитомягких ферритов низкой частоты (НЧ) и высокой частоты (ВЧ).

Какова маркировка никель-цинковых и марганцево-цинковых ферритов?

Как зависит их магнитная проницаемость и тангенс угла магнитных потерь $\operatorname{tg}d_M$ от частоты?

Что такое граничная частота и критическая частота для ферритов?

Нарисовать зависимость начальной магнитной проницаемости ферритов от частоты.

73. Описать свойства ферритов сверхвысокой частоты (СВЧ).

Каков частотный диапазон СВЧ?

Перечислить требования к ферритам СВЧ.

Каков состав этих материалов, что такое феррогранаты?

Для создания каких устройств используются в технике СВЧ различные эффекты, наблюдаемые в этих материалах (эффект Фарадея, ферромагнитный ре-

зонанс, зависимость магнитной проницаемости феррита от напряженности внешнего поля)?

74. Перечислите магнитные материалы специализированного назначения.

Какие основные свойства используются у каждой группы этих материалов?

75. Описать свойства и область применения ферритов и металлических сплавов с прямоугольной петлей гистерезиса (ППГ).

Что такое коэффициент прямоугольности петли?

Что такое коэффициент переключения, его практическое значение?

Что такое ленточные микронные сердечники? Какие марки пермаллоев используются в них?

В каких устройствах используются материалы с ППГ?

76. Что такое тонкие пленки магнитных материалов?

Какова толщина и особенности доменной структуры тонких магнитных пленок? Где они могут быть использованы?

Что такое цилиндрические магнитные домены (ЦМД)? Как они образуются, в каких материалах наблюдаются?

Для каких устройств могут применяться пленки с ЦМД?

77. Описать магнитострикционные материалы.

Каков состав таких материалов?

Нарисовать зависимость магнитострикции от напряженности магнитного поля.

Для создания каких устройств их применяют?

78. Описать термомагнитные материалы.

Каков состав этих материалов?

Нарисовать зависимость индукции от температуры для них.

Для каких целей их применяют?

79. Описать сплавы с постоянной магнитной проницаемостью в слабых полях.

80. Описать основные свойства магнитотвердых материалов.

Назвать основные группы этих материалов, для чего они применяются?

Перечислить их характеристики и требования к ним.

Что такое кривая размагничивания?

Почему индукция в зазоре магнита меньше остаточной индукции в материале, из которого он изготовлен?

Что такое удельная магнитная энергия в зазоре магнита? В каких единицах она измеряется?

Что такое максимальная энергия и энергетическое произведение?

81. Описать свойства легированных мартенситных сталей.

Каков их состав, маркировка?

Каковы их основные характеристики – коэрцитивная сила, остаточная индукция, максимальная удельная энергия в зазоре (в справочнике она обозначается W_{\max} , в учебнике – \mathcal{E}_{\max})?

Каковы достоинства и недостатки этих материалов?

82. Описать свойства литых высококоэрцитивных сплавов.

Каков их химический состав, маркировка?

Какими способами достигаются их высокие магнитные свойства?

В каких пределах лежат значения их магнитных характеристик – H_c , \mathcal{E}_{\max} ?

83. Описать свойства магнитов из порошков.

Каков процесс изготовления металлокерамических магнитов?

Какие преимущества дает порошковая технология?

Что такое металлопластические магниты?

Сравнить свойства металлокерамических и металлопластических магнитов.

Каковы области их применения и маркировка?

В каких пределах лежат величины их магнитных характеристик H_c , \mathcal{E}_{\max} ?

84. Описать свойства магнитотвердых ферритов.

Каков химический состав бариевых ферритов и маркировка?

Указать величину их магнитных характеристик.

Каков химический состав и маркировка кобальтовых ферритов?

Указать величины их магнитных характеристик.

Сравнить свойства бариевых и кобальтовых магнитов.

85. Описать материалы, применяемые для целей звукозаписи.

Каков состав сплава викаллой?

Какие еще металлические материалы применяются? Каковы их недостатки?

Из каких материалов изготавливались двухслойные и однослойные ленты магнитной записи? Каковы их сравнительные свойства?

86. Описать новые сплавы на основе редкоземельных металлов. Каковы их преимущества перед ранее существующими?

4. ЗАДАЧИ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИХ РЕШЕНИЮ

Решение любой задачи начинается с нахождения к ней ключа, т.е. такой формулы, при подстановке в которую каких-то промежуточных формул, а затем и числовых значений величин можно получить ответ. Например задача формулируется так. Найти заряд на обкладках конденсатора при напряжении: U , если диаметр электродов равен D , а толщина диэлектрика d . Ключом к решению этой задачи является формула, связывающая заряд, емкость и напряжение: $Q = CU$.

По размерам конденсатора находим его емкость

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon p D^2}{4d}$$

и, подставляя выражение для емкости в формулу, являющуюся ключом задачи, рассчитываем заряд.

Задача 1. Имеем плоский конденсатор. Заданы следующие величины:

- диаметр электродов $D = 10$ мм;

- толщина диэлектрика $d = 0,1$ мм;
- диэлектрическая проницаемость ϵ (найти в справочной литературе);
- напряжение на электродах конденсатора $U = 100$ В.

Рассчитать:

1. Заряд, который натечет на электроды вакуумного конденсатора.
2. Заряд, который натечет на электроды конденсатора с диэлектриком. Сравнить эти заряды при малом и большом значении диэлектрической проницаемости.
3. Заряд, который обусловлен поляризацией диэлектрика.
4. Энергию, запасенную в конденсаторе без диэлектрика и с диэлектриком.

Варианты диэлектриков:

- 1) полистирол, титанат бария;
- 2) фторопласт-4; титаноциркониевая керамика;
- 3) слюда; перовскитовая керамика.

Проанализировать полученные результаты и описать, какую роль играет диэлектрическая проницаемость для накопления заряда и энергии конденсатора.

Задача 2. Определить заряд на обкладках пленочного конденсатора площадью $0,25 \text{ см}^2$ при напряжениях 10, 20, 30, 40 и 50 В и построить зависимость $Q = f(U)$ для этих конденсаторов.

- Варианты:
- 1) пленка из двуокиси кремния;
 - 2) пленка из монооксида кремния;
 - 3) пленка из пятиоксида тантала;
 - 4) пленка из нитрида кремния;
 - 5) пленка из окиси алюминия.

Задачу решить для двух толщин пленок ($d = 0,01$ мм и $d = 0,1$ мм) и сравнить полученные результаты. Числовые данные для ϵ взять из справочной литературы.

Задача 3. Две противоположные грани куба с ребром $a = 10$ мм из диэлектрического материала с удельным объемным сопротивлением $\rho_v = 10^{10}$ Ом·м и удельным поверхностным сопротивлением $\rho_s = 10^{10}$ Ом покрыты металлическими электродами. Определить ток, протекающий через эти грани куба при постоянном напряжении $U = 2,5$ кВ.

Задача 4. Цилиндрический стержень диаметром 10 мм и длиной 20 мм из диэлектрика с удельным объемным сопротивлением $\rho_v = 10^{13}$ Ом·м и удельным поверхностным сопротивлением $\rho_s = 10^{14}$ Ом покрыт с торцов металлическими электродами. Чему равно сопротивление между электродами?

Задача 5. Цилиндрический образец диэлектрика диаметром $D = 5$ мм и длиной $l = 15$ мм имеет на торцах металлизированные электроды. Определить ток, протекающий через образец в постоянном поле и диэлектрические потери в нем (в постоянном поле и переменном при частоте 10^6 Гц при напряжении $U = 2$ кВ).

Варианты диэлектриков:

- 1) полиэтилен;
- 2) полистирол;
- 3) фторопласт-4;

- 4) органическое стекло;
- 5) лавсан;
- 6) капрон.

Данные по удельному объемному и поверхностному сопротивлению, а также по тангенсу угла диэлектрических потерь диэлектриков взять из справочной литературы.

Проанализировать, в каком поле – постоянном или переменном – диэлектрические потери больше.

Задача 6. В дисковом керамическом конденсаторе емкостью $C = 100$ пФ, включенном на переменное напряжение $U = 100$ В частотой $f = 1$ МГц, рассеивается мощность $P_a = 10^{-3}$ Вт. Определить реактивную мощность, тангенс угла диэлектрических потерь и добротность конденсатора.

Задача 7. При измерении сопротивления изоляции керамического конденсатора емкостью 100 пФ получили $R_{из} = 2 \cdot 10^{11}$ Ом; при измерении на частоте $f = 1$ МГц получили $tg\delta = 7 \cdot 10^{-4}$. Рассчитать эквивалентное параллельное сопротивление R_p на частоте 1 МГц и сравнить его со значением сопротивления изоляции. Какие выводы можно сделать о механизме диэлектрических потерь в керамическом материале этого конденсатора?

Задача 8. Нагревательный прибор из нихромовой проволоки мощностью $W = 600$ Вт работает при напряжении $U = 220$ В. Рассчитать, какую длину имеет проволока, если ее диаметр d . Рабочая температура $t = 800$ °С.

Варианты задачи: 1) $d = 0,5$ мм; 2) $d = 0,4$ мм; 3) $d = 0,3$ мм.

Данные по удельному сопротивлению нихрома и его температурному коэффициенту удельного сопротивления взять из справочной литературы.

Задача 9. Сопротивление вольфрамовой нити электрической лампочки при 20 °С равно 35 Ом. Определить температуру нити лампочки, если известно, что при ее включении в сеть напряжением 220 В в установившемся режиме по нити проходит ток 0,6 А. Температурный коэффициент удельного сопротивления вольфрама при 20 °С принять равным $5 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.

Задача 10. Определить длину нихромовой проволоки диаметром 0,5 мм, используемой для изготовления нагревательного устройства с сопротивлением 20 Ом при температуре 1000 °С, полагая, что при 20 °С параметры нихрома: $\rho_v = 1,0$ мкОм·м; $\alpha_\rho = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$; $\alpha_l = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.

Задача 11. Постройте график зависимости термоЭДС от температуры для термопары в пределах температур 0–200 °С через интервал $\Delta t = 40$ °С,

Варианты задачи: 1) медь – железо. 2) медь – константан. 3) медь – манганин.

Данные по термоЭДС относительно меди и температурному коэффициенту удельного сопротивления взять из справочной литературы.

Задача 12. Известно удельное сопротивление металла при комнатной температуре. Используя закон Видемана–Франца–Лоренца, рассчитайте удельную теплопроводность этого металла. Значение константы Лоренца указано в [1, с. 30; 2, с. 30; 3, с. 195].

Варианты задачи: 1) алюминий; 2) медь; 3) серебро; 4) железо; 5) платина.

Задача 13. Определить абсолютное приращение удельного сопротивления металла при изменении температуры от 20 до 220 °С. Сравнить эти величины для двух металлов.

Данные по удельному сопротивлению и температурному коэффициенту удельного сопротивления металлов указаны в [1, с. 359; 2, с. 359].

Варианты задачи: 1) медь, алюминий; 2) медь, железо; 3) золото, платина; 4) серебро, алюминий.

Задача 14. Ширина запрещенной зоны полупроводника равна ΔE . Найти длину волны, соответствующую длинноволновому краю фотопроводимости. Записать, в какой области электромагнитного спектра (инфракрасной, видимой или ультрафиолетовой) находится эта длина волны. Ширина запрещенной зоны для различных полупроводниковых материалов указана в [1, табл. 5.1; 2, табл. 5.1; 3, табл. 8.2].

Варианты задачи: 1) германий; 2) кремний; 3) селен; 4) теллур; 5) сера.

Задача 15. Рассчитать температурный коэффициент удельного сопротивления полупроводника (см. [1, с. 309; 3, с. 242–244]) при температурах 20, 50, 80 °С.

Варианты те же, что в задаче 14.

Задача 16. По данным табл. 4.1 построить основную кривую намагничивания $B = f(H)$ для электротехнической стали и по этой кривой намагничивания построить зависимость относительной магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля $m = f(H)$. Кривые можно построить на одном рисунке, выбрав удобный масштаб. Какой точке кривой намагничивания соответствует наибольшая магнитная проницаемость?

Таблица 4.1

Результаты измерений для электротехнической стали

$H, \text{А/м}$	3	5	10	20	50	70	100	200	500	1000
$B, \text{Тл}$	0,02	0,055	0,42	1,02	1,38	1,47	1,52	1,58	1,67	1,70
m										

Методические указания к задаче 16

Относительная магнитная проницаемость определяется по формуле

$$m = \frac{B}{\mu_0 H},$$

где B – индукция, Тл; H – напряженность магнитного поля, А/м; μ_0 – магнитная постоянная, Гн/м.

Данному заданию соответствует материал, изложенный в [1, с. 307–308; 2, с. 307–308; 3, с. 270].

Задача 17. Вычислить величину индуктивности и магнитный поток в кольцевом образце магнитного материала, изображенного на рис. 4.1.

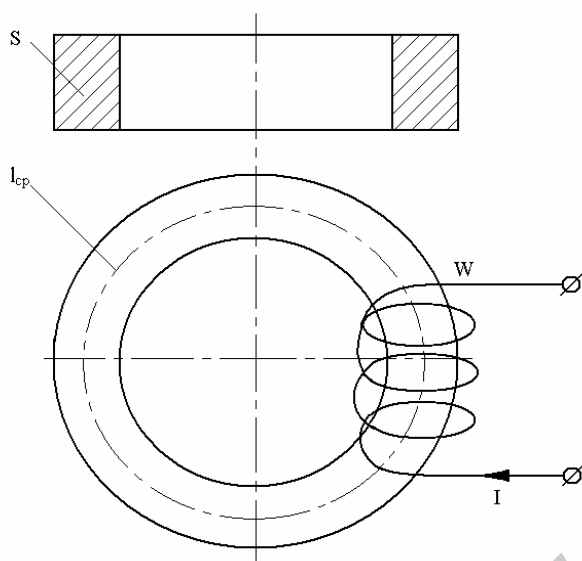


Рис. 4.1. Кольцевой магнитопровод

Размеры образца следующие: площадь сечения $S = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, длина средней силовой линии $l_{cp} = 0,2 \text{ м}$, число витков $w = 100$; величина тока намагничивания $I = 1 \text{ А}$. Относительная магнитная проницаемость m указана в табл. 4.2 для образцов из различных материалов, которые пронумерованы.

Решите задачу для двух образцов, номера которых указывает преподаватель при выдаче заданий. Объясните, как влияет величина магнитной проницаемости материала сердечника на индуктивность и магнитный поток.

Таблица 4.2

Образцы магнитных материалов

№ образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
μ	50	60	55	65	150	1500	2000	3000	8000	60 000
Материал	Магнито-диэлектрики				Магнито-мягкие ферриты			Электротехническая сталь		Пермаллой

Методические указания к задаче 17

Магнитный поток определяется по формуле

$$\Phi = L \cdot I, \text{ Вб},$$

где L – индуктивность, Гн; I – намагничивающий ток в обмотке, А.

Сначала вычисляется индуктивность по формуле

$$L = \frac{\mu_0 \mu S w^2}{l_{cp}}, \text{ Гн,}$$

где $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6}$ Гн/м – магнитная постоянная.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Задания каждому студенту выдает преподаватель на установочной сессии. Студент-заочник должен ответить на пять вопросов из разд. 3 и решить три задачи из разд. 4 данного пособия. Вопросы из разд. 3 должны охватывать все виды материалов: диэлектрических, проводниковых, полупроводниковых и магнитных.

При выборе номера задачи следует учитывать, что цифра, стоящая после точки, указывает вариант.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пасынков, В. В. Материалы электронной техники / В. В. Пасынков, В. С. Соколин. – СПб. : Лань, 2001.
2. Пасынков, В. В. Материалы электронной техники / В. В. Пасынков, В. С. Соколин. – М. : Высш. шк., 1986.
3. Богородицкий, Н. П. Электротехнические материалы : учебник для вузов / Н. П. Богородицкий, В. В. Пасынков, Т. Б. Мареев. – Л. : Энергоатомиздат, 1985.
4. Справочник по электротехническим материалам / под ред. Ю. В. Корицкого. – М. : 1974, т. 1 и 2; 1976, т. 3.
6. Рычина, Т. А. Электрорадиоэлементы / Т. А. Рычина. – М. : Сов. радио, 1976.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	3
1.1. Предмет и содержание курса	3
1.2. Классификация веществ по электрическим и магнитным свойствам	3
1.3. Классификация радиотехнических материалов	4
1.4. Государственные стандарты	4
1.5. Место курса «Материалы и компоненты радиоэлектроники» в ряду других дисциплин, изучаемых студентами специальности I-39 01 01 «Радиотехника»	5
1.6. Значение курса «Материалы и компоненты радиоэлектроники» для последующей деятельности инженеров по радиоэлектронике	5
1.7. Структура методического издания	5
2. Рабочая программа курса и методические указания к ее разделам	6
2.1. Введение	6
2.2. Физические процессы в диэлектриках и их свойства	6
2.2.1. Поляризация диэлектриков	6
2.2.2. Электропроводность диэлектриков	7
2.2.3. Потери в диэлектриках	8
2.2.4. Пробой диэлектриков	8
2.2.5. Физико-механические, химические и радиационные свойства диэлектриков	9
2.2.6. Диэлектрические материалы	9
2.3. Проводники	11
2.3.1. Свойства проводников	11
2.3.2. Проводниковые материалы	12
2.4. Полупроводники	12
2.4.1. Свойства полупроводников	12
2.4.2. Полупроводниковые материалы	13
2.5. Магнитные материалы	14
2.5.1. Общие свойства магнитных материалов	14
2.5.2. Магнитомягкие материалы	15
2.5.3. Магнитные материалы специализированного назначения	17
2.5.4. Магнитотвердые материалы	18
3. Вопросы для самопроверки и выполнения контрольных работ	18
3.1. Диэлектрические материалы	18
3.1.1. Поляризация диэлектриков	18
3.1.2. Электропроводность диэлектриков	21
3.1.3. Диэлектрические потери	22
3.1.4. Пробой диэлектриков	23
3.1.5. Физико-механические, химические и радиационные свойства диэлектриков	24

3.1.6. Разновидности диэлектрических материалов	25
3.2. Проводниковые материалы	25
3.2.1. Основные свойства проводниковых материалов	25
3.2.2. Классификация проводниковых материалов	26
3.3. Полупроводниковые материалы.....	27
3.3.1. Основные свойства полупроводников	27
3.3.2. Классификация полупроводниковых материалов	27
3.4. Магнитные материалы	28
4. Задачи и методические указания к их решению	32
5. Контрольные задания	37
Литература.....	37

Библиотека БГУИР

Учебное издание

МАТЕРИАЛЫ И КОМПОНЕНТЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
(раздел «Радиоматериалы»)

Методические указания, программа и контрольные задания
для студентов специальности I-39 01 01 «Радиотехника»
заочной формы обучения

Составитель

Шульгов Владимир Владимирович

Редактор Е. Н. Батурчик
Корректор М. В. Тезина
Компьютерная верстка Е. Н. Мирошниченко

Подписано в печать 11.02.2008.	Формат 60×84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Печать ризографическая.	Усл. печ. л. 2,44.
Уч.-изд. л. 2,0.	Тираж 70 экз.	Заказ 406.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131666 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6