

*Направление подготовки 11.03.04 «Электроника и микроэлектроника»
Профиль подготовки: «Промышленная электроника»
Методическое обеспечение дисциплины Б1.О.11 «Материалы и компоненты
электронной техники»*



**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске**


Методическое обеспечение дисциплины

МАТЕРИАЛЫ И КОМПОНЕНТЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

(НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

Смоленск – 2018 г.

Методические материалы составил:

д-р техн. наук, профессор  Чернышев В.А.
«26» июня 2018 г. ФИО

Заведующий кафедрой «Теоретических основ электротехники»:

к.т.н., доцент  Чернов В.А.
«02» июля 2018 г. подпись

Лекция 1. Введение. Основные понятия.

Материал - это объект, обладающий определенным составом, структурой и свойствами, предназначенный для выполнения определенных функций.

Материалы могут иметь различное **агрегатное состояние**: твердое, жидкое, газообразное или плазменное.

Материаловедение - наука, занимающаяся изучением состава, структуры, свойств материалов, поведением материалов при различных воздействиях: тепловых, электрических, магнитных и т.д., а также при сочетании этих воздействий.

Стихийными материалововедами были еще древние люди, например, научившиеся делать каменные наконечники или топоры из определенных камней со слоистой структурой. Технический прогресс человечества во многом основан на материаловедении. В свою очередь технический прогресс дает новые возможности, методы, приборы для материаловедения, позволяет создавать новые материалы.

Электротехническое материаловедение - это раздел материаловедения, который занимается материалами для электротехники и энергетики, т.е. материалами, обладающими специфическими свойствами, необходимыми для конструирования, производства и эксплуатации электротехнического оборудования.

Для понимания электрических, магнитных и механических свойств материалов, а также причин старения нужны знания их химического и фазового состава, атомной структуры и структурных дефектов.

Материалы, используемые в электронной технике, подразделяют на:

- электротехнические,
- конструкционные;
- специального назначения.

Электротехническими называют материалы, характеризующиеся определенными свойствами по отношению к электромагнитному полю и применяемые в технике с учетом этих свойств.

По поведению в **электрическом поле** материалы подразделяют на:

- проводниковые,
- полупроводниковые,
- диэлектрические.

Проводниковыми называют материалы, основным электрическим свойством которых является сильно выраженная электропроводность.

Условно к проводникам относят материалы с удельным электрическим сопротивлением $\rho < 10^{-5}$ Ом*м. Удельное сопротивление хороших проводников может составлять всего 10^{-8} Ом*м.

Материалы высокой проводимости используют там, где необходимо, чтобы электрический ток проходил с минимальными потерями. К таким материалам относятся металлы: Cu, Al, Fe, Ag, Au, Pt и сплавы на их основе. Из них изготавливают провода, кабели и другие токопроводящие части электроустановок.

Сверхпроводниками являются материалы, у которых при температурах ниже некоторой критической $T_{кр}$ сопротивление электрическому току становится равным нулю.

Криопроводники — это материалы высокой проводимости, работающие при криогенных температурах (температуре кипения жидкого азота $-195,6$ °С).

Проводниковыми материалами **высокого** (заданного) **сопротивления** являются металлические сплавы, образующие твердые растворы. Из них изготавливают резисторы, терморезисторы и электронагревательные элементы.

Из **контактных** материалов изготавливают скользящие и разрывные контакты. В зависимости от предъявляемых требований эти материалы очень разнообразны по своему составу и строению. К ним относятся, с одной стороны, металлы высокой проводимости (Cu, Ag, Au, Pt и т. п.) и сплавы на их основе, с другой — тугоплавкие металлы (W, Mo и др.) и композиционные материалы.

Диэлектрическими называют материалы, основным электрическим свойством которых является способность к **поляризации** и в которых возможно существование электростатического поля.

При применении диэлектриков — одного из наиболее обширных классов электротехнических материалов — довольно четко определилась необходимость использования как пассивных, так и активных свойств этих материалов.

Пассивные свойства диэлектрических материалов используются, когда их применяют в качестве электроизоляционных материалов и диэлектриков конденсаторов обычных типов.

Электроизоляционными материалами называют диэлектрики, которые не допускают утечки электрических зарядов, т. е. с их помощью отделяют электрические цепи друг от друга или токоведущие части устройств, приборов и аппаратов от проводящих, но не токоведущих частей (от корпуса, от земли).

Активными (управляемыми) диэлектриками являются сегнетоэлектрики, пьезоэлектрики, пироэлектрики, электролюминофоры, материалы для излучателей и затворов в лазерной технике, электреты и др. Детали, изготовленные из них, служат для генерации, усиления, модуляции, преобразования электрического сигнала.

К диэлектрикам относят материалы, у которых $\rho > 10^8$ Ом*м. Удельное сопротивление лучших диэлектриков превосходит 10^{16} Ом*м.

Полупроводниковыми называют материалы, являющиеся по удельной проводимости промежуточными между проводниковыми и диэлектрическими материалами и отличительным свойством которых является сильная зависимость удельной проводимости от концентрации и вида примесей или различных дефектов, а также в большинстве случаев от внешних энергетических воздействий (температуры, освещенности и т. п.).

Удельное сопротивление полупроводников в зависимости от строения и состава материалов, а также от условий их эксплуатации может изменяться в пределах 10^{-5} - 10^8 Ом*м.

Четкую границу между значениями удельного сопротивления различных классов материалов провести достаточно сложно. Например, многие полупроводники при низких температурах ведут себя подобно диэлектрикам. В то же время диэлектрики при сильном нагревании могут проявлять свойства полупроводников.

Качественное различие состоит в том, что для металлов проводящее состояние является основным, а для полупроводников и диэлектриков — возбужденным.

По **магнитным** свойствам материалы **подразделяются** на **слабوماгнитные** (диамагнетики и парамагнетики) и **сильномагнитные** (ферромагнетики и ферримагнетики).

Диамагнетиками являются вещества с магнитной проницаемостью $\mu < 1$, значение которой не зависит от напряженности внешнего магнитного поля. К ним относятся водород, инертные газы, большинство органических соединений, каменная соль и некоторые металлы (медь, цинк, серебро, золото, ртуть), а также висмут, галлий, сурьма.

К **парамагнетикам** относятся вещества с магнитной проницаемостью $\mu > 1$, также не зависящей от напряженности внешнего магнитного поля. К ним относятся кислород, оксид азота, соли железа, кобальта, никеля и редкоземельных элементов, щелочные металлы, алюминий, платина.

Диамагнетики и парамагнетики имеют магнитную проницаемость, близкую к единице, и по магнитным свойствам нашли себе ограниченное применение в технике.

У **сильномагнитных** материалов $\mu \gg 1$ и зависит от напряженности магнитного поля. К ним относятся железо, никель, кобальт и их сплавы, сплавы хрома и марганца, гадолиний, ферриты различного состава.

Лабораторный практикум по дисциплине «Материалы и компоненты электронной техники» включает:

Лабораторная работа 1. Электропроводность проводниковых и полупроводниковых материалов.

Лабораторная работа 2. Электропроводность жидких диэлектриков.

Лабораторная работа 3. Электропроводность твердых диэлектриков.

Лабораторная работа 4. Диэлектрическая проницаемость и диэлектрические потери диэлектриков.

Лабораторная работа 5. Электрическая прочность газообразных и жидких диэлектриков.

Лабораторная работа 6. Электрическая прочность твердых диэлектриков.

Лабораторная работа 7. Исследование магнитных материалов.

Лабораторная работа 8. Контроль качества партии изделий электронной техники статистическими методами.

Для подготовки к лабораторным занятиям рекомендуется пользоваться методическими рекомендациями для самостоятельной работы студентов по настоящей дисциплине и учебно-практическими изданиями:

«Лабораторный практикум по материаловедению» В.А. Чернышев, Н.М. Тимошенко, В.А. Чернов, М.А. Кисляков. – Смоленск: РИО филиала МЭИ в г. Смоленске, 2012. – 116 с.

Примеры заданий на расчетно-графическую работу по дисциплине

Задание 1. Получить выражение для вычисления погрешности измеренного значения сопротивления

$$R_V = U / I$$

Задание 2. Построить зависимость $R = f(T)$ по экспериментальным данным:

T, К	R, Ом
293	9,4077e+11
303	2,5487e+11
313	7,5058e+10
323	2,3842e+10
333	8,1135e+9
343	2,9400e+9
353	1,1285e+9
363	4,5664e+8
373	1,9395e+8

Задание 3. Получить выражение для вычисления погрешности измеренного значения емкости мостовым методом

$$Z_x = \frac{Z_2}{Z_3} * Z_4$$

Задание 4. Построить график зависимости $\rho = f(T)$ для меди и объяснить ее.

T, К	R, Ом	T, К	R, Ом	T, К	R, Ом	T, К	R, Ом
293	133	318	144	343	157	368	168
298	136	323	148	348	158	373	169
303	138	328	149	353	162		
308	140	333	152	358	163		
313	142	338	155	363	165		

$$l = 88 \text{ м}, \quad d = 0,12 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Задание 4. Для меди α (температурный коэффициент удельного сопротивления).

$$\alpha_{снл} = \frac{1}{\rho_{ср}} \cdot \frac{\rho_2 - \rho_1}{T_2 - T_1}$$

$$\alpha_{снл} = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \cdot (T_2 - T_1)}$$

$$\alpha = 1/273 \text{ К}^{-1}$$

Задание 5. Построить зависимость $\ln \gamma = f(10^4/T)$ для полупроводника (германий и мышьяк) и объяснить ее.

T	R	T	R	T	R	T	R
293	1506	318	1125	343	1051	368	1131
298	1409	323	1090	348	1066	373	1150
303	1321	328	1065	353	1078		
308	1250	333	1055	358	1094		
313	1156	338	1053	363	1112		

$$h = 15 \cdot 10^{-3} \text{ м}; S = 2 \text{ мм}^2.$$

Построить энергетическую диаграмму.

$$\kappa = 0,864 \cdot 10^{-4} \text{ эВ/град}$$

Задание 6. Для полупроводника найти α (температурный коэффициент удельного сопротивления).

$$\alpha_{\text{снл}} = \frac{1}{\rho_{\text{ср}}} \cdot \frac{\rho_2 - \rho_1}{T_2 - T_1}$$

$$\alpha_{\text{снл}} = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \cdot (T_2 - T_1)}$$

$$\alpha = 1/273 \text{ К}^{-1}$$

Задание 7. Требуется доказать, что величина электронной поляризуемости $\alpha_{\text{э}}$ атомов диэлектрика пропорциональна r^3 , где r – радиус электронной орбиты.

Задание 8. Требуется доказать, что величина поляризуемости $\alpha_{\text{и}}$ ионного смещения диэлектрика пропорциональна a^3 , где a – радиус молекулы.

Задание 9. Требуется определить каким образом изменится величина диэлектрической проницаемости воздушного промежутка ($T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $\epsilon_{\text{в}} = 1,00058$) и насколько, если температура окружающей среды увеличится на $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Задание 10. Построить зависимость $\ln \gamma = f(10^4/T)$. Рассчитать энергию активации собственных и примесных зарядов.

Температура	Ток, нА	Температура	Ток, нА	Температура	Ток, нА
20	39	50	50,6	80	156,8
25	39,2	55	56,2	85	228
30	39,7	60	63,7	90	353
35	41,5	65	75,6	95	570
40	43,7	70	92,4	100	1028
45	46,8	75	118,7		

$$U = 1,5 \text{ кВ}; h = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}; d = 5,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}; \kappa = 0,864 \cdot 10^{-4} \text{ эВ/град.}$$

Задание 11. Как изменяется $\text{tg} \delta$ неполярной и полярной жидкостей при изменении температуры и частоты приложенного поля. Дайте физическое толкование приведенных Вами зависимостям. Объясните наличие двух релаксационных максимумов на зависимости $\text{tg} \delta$ от температуры для кабельной бумаги, пропитанной маслосиликоновым компаундом.

Задание 12. Медный провод сечением 10 мм^2 имеет изоляцию и полихлорвинилового пластика толщиной 1 мм и снабжен медным экраном. Определите потери мощности на 10 м провода при температурах $50 \text{ }^\circ\text{C}$ и $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ на частотах 50 Гц и 400 Гц , если подаваемое напряжение меж-

ду жилой и экраном 220 В, $\varepsilon = 2$, а $\operatorname{tg}\delta = 0,1$ при температуре 50°C и $\operatorname{tg}\delta = 0,05$ при температуре - 20°C.

1. Общие сведения о самостоятельной работе студентов по дисциплине

Цель самостоятельной работы студента – осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, получаемым при контактной работе с преподавателем, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свою профессиональную квалификацию.

Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Материалы и компоненты электронной техники» проводится в соответствии с рабочей программой дисциплины.

2. Содержание самостоятельной работы студентов по дисциплине

Процесс освоения студентами дисциплины «Материалы и компоненты электронной техники» включает:

По теме 1 «Физика диэлектриков. Поведение диэлектриков в слабых и сильных электрических полях» в качестве самостоятельной работы предусматриваются:

1. Подготовка к лекциям №1 и №2 (изучение литературы по данной теме).
2. Подготовка к выполнению лабораторных работ.

Рекомендации студентам по самостоятельной работе к теме №1.

1. подготовка к лекциям №1 и №2

При подготовке к лекциям №1 и №2 следует найти ответы на вопросы в рекомендуемой литературе:

1. Типы связей в веществе: металлическая, гетеровалентная (ионная), гомеополлярная (ковалентная), молекулярная (Ван-дер-Ваальса).
 2. Классификация материалов в электротехнике.
 3. Способы энергетического воздействия на вещество.
 4. Зонная теория строения твердого тела и классификация веществ на проводники, п/проводники и диэлектрики
2. Подготовка к выполнению лабораторной работы (изучение методических указаний)

По теме 2 «Диэлектрические материалы электронной техники. Органические и неорганические материалы. Основные компоненты электронной техники на их основе» в качестве самостоятельной работы предусматриваются:

1. Подготовка к лекциям №3 и №4 (изучение литературы по данной теме).
2. Подготовка к выполнению лабораторных работ (изучение методических указаний).

Рекомендации студентам по самостоятельной работе к теме №2.

1. подготовка к лекциям №3 и №4

При подготовке к лекциям №3 и №4 следует найти ответы на вопросы в рекомендуемой литературе:

1. Электрические характеристики диэлектриков: (C), $R_{из}$, (ρ_v , ρ_s), $tg\delta(P_a)$, $U_{пр}$ и $E_{пр}$ и их значение в работе изоляции.
2. Поляризация диэлектриков. Понятие о нейтральной и полярной частице.
3. Механизмы образования связанного электрического заряда в диэлектрике в электрическом поле.
4. Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ и емкость C изоляции.

5. Электропроводность диэлектриков. Механизм электропроводности диэлектриков; собственная и примесная проводимость. ρ_v и ρ_s .
6. Зависимость тока I в диэлектрике от времени приложения напряжения; токи смещения $I_{см}$, абсорбционный $I_{абс}$, сквозной проводимости $I_{скв}$.
7. Проводимость диэлектриков в слабых и сильных полях (область закона Ома, Пуля, Френкеля).
8. Влияние влаги, времени эксплуатации на сопротивление изоляции.
9. Диэлектрические потери. Потери в изоляции на напряжении постоянного и переменного тока.
10. Векторные диаграммы токов в диэлектрике, угол диэлектрических потерь δ и $tg\delta$, формула P_a в диэлектриках.
11. Диэлектрические потери в нейтральных и полярных диэлектриках, зависимость $tg\delta$ и P_a в них от температуры и частоты.
12. Влияние U на $tg\delta$ и P_a , ионизационные потери.
13. Влияние влаги на диэлектрические потери.
14. Высокмолекулярные соединения (ВМС): природные, искусственные, синтетические (СВМС).
15. Полимеризационные и поликонденсационные СВИС, их преимущества и недостатки.
16. Нейтральные полимеризационные СВМС: полиэтилен (ПЭ), полипропилен (ПП), полистирол (ПС), политетрафторэтилен (ПТФЭ).
17. Полярные полимерные СВМС: поливинилхлорид (ПХВ), полиметилметакрилат (ПММА).
18. Поликонденсационные СВМС: фенолформальдегидная (ФФ), эпоксидная (ЭС), полиэфирная, кремнийорганическая смолы.
19. Пластмассы: исходные компоненты, способы переработки (термопласты, реактопласты).
20. Слоистые пластики (гетинакс, текстолит).
21. Волокнистые материалы: неорганические (асбест, стекло), органические (естественные, искусственные, синтетические).
22. Пленки, лакоткани, бумаги.
23. Каучук: натуральный, синтетический.
24. Вулканизация каучука, резины.
25. Природные смолы: канифоль, шеллак, битумы.
26. Лаки: пропиточные, покровные, клеи. Эмали. Эмальлаки.
27. Компаунды: пропиточные, заливочные.
28. Неорганические ЭТМ. Преимущества и недостатки. Природные: асбест, слюда.
29. Изделия на основе слюды: миканиты, слюдиниты, миналекс. Искусственная слюда.
30. Керамика: чистых окислов, фарфор, исходные материалы: электрофарфор, радиофарфор; конденсаторная керамика.
31. Технология керамических изделий.

2. Подготовка к выполнению лабораторных работ

При подготовке к выполнению лабораторной работы следует ознакомиться с методическими указаниями к выполнению лабораторных работ (лабораторном практикуме).

По теме 3 «Полупроводниковые и проводниковые материалы. Основные компоненты электронной техники на их основе. Сверхпроводники и криопродовники» в качестве самостоятельной работы предусматриваются:

- 1. Подготовка к лекциям №5 и №6 (изучение литературы по данной теме).**
- 2. Подготовка к выполнению лабораторных работ.**

Рекомендации студентам по самостоятельной работе к теме №3.

1. подготовка к лекциям №5 и №6

При подготовке к лекциям №5 и №6 следует найти ответы на вопросы в рекомендуемой литературе:

1. Полупроводники (п/п), электронная и дырочная проводимость; п/проводники «п» и «р» типа.
2. Чистые и примесные п/проводниковые материалы.
3. Зависимость проводимости п/п от температуры, механической нагрузки, освещенности, напряженности электрического поля и создание на основе этих зависимостей п/проводниковых датчиков
4. Проводники, классификация по роду носителя зарядов, состоянию.
5. Сопротивление проводников и его зависимость от внешних факторов: температуры (ТКр), деформации, примесей.
6. Сверхпроводимость, сверхпроводники I и II рода.

2. Подготовка к выполнению лабораторных работ

При подготовке к выполнению лабораторной работы следует ознакомиться с методическими указаниями к выполнению лабораторных работ (лабораторном практикуме).

По теме 4 «Магнитные свойства материалов. Магнитомягкие и магнитотвердые. Основные свойства, виды и область применения» в качестве самостоятельной работы предусматриваются:

1. Подготовка к лекциям №7 и №8 (изучение литературы по данной теме).
2. Подготовка к выполнению лабораторных работ.

Рекомендации студентам по самостоятельной работе к теме №4.

1. подготовка к лекциям №7 и №8

При подготовке к лекциям №7 и №8 следует найти ответы на вопросы в рекомендуемой литературе:

1. Магнитные материалы (ММ). Назначение ММ.
2. Основные характеристики ММ: максимальная B_s и остаточная B_r индукция, коэрцитивная сила H_c , потери на гистерезис P_h и вихревые токи P_f , относительная магнитная проницаемость μ .
3. Зависимость B, μ от H , температуры (точка Кюри).
4. Классификация ММ на магнитомягкие (МММ) и магнитотвердые (МТМ). МММ: технически чистое железо, электротехническая сталь, пермаллой; ферриты и магнитодиэлектрики (для высоких частот), их основные магнитные характеристики, применение.
5. МТМ: закаленные на мартенсит стали, сплавы альни, альнико.

2. Подготовка к выполнению лабораторных работ

При подготовке к выполнению лабораторной работы следует ознакомиться с методическими указаниями к выполнению лабораторных работ (лабораторном практикуме).