

ПРОВОДНИКОВ ЫЕ МАТЕРИАЛЫ



- Проводники – материалы, которые обладают способностью проводить электрический ток и характеризуются весьма малым удельным электрическим сопротивлением.
- Различают:
- Проводники 1 рода (металлы и сплавы)
- Проводники 2 рода (электролиты)
- Газы и пары металлов
- Сверхпроводники и криопроводники

В любом теле при приложении напряжения должен протекать ток в соответствии с выражением, определяющим плотность тока :

$$j = \sum n_i \cdot q_i \cdot v_i,$$

где n_i – концентрация носителей заряда i -го сорта;

q_i – значение заряда;

v_i –средняя скорость теплового движения носителя заряда.

**Высокая
электропроводность –
это основная
характеристика всех
проводниковых материалов.**

Для твердых проводниковых материалов (металлов и сплавов) носителями заряда являются электроны. (Все атомы металла ионизованы, и электроны не принадлежат каждому атому, а обобществлены во всем кристалле).

Примерное количество электронов в металле составляет около 10^{22} шт/см³, заряд электрона – величина постоянная, равная $1,6 \cdot 10^{-16}$ Кл.

Общие свойства

ПРОВОДНИКОВ:

- Высокая электропроводность;
- Высокая теплопроводность;
- Возникновение термо-ЭДС при контакте различных проводников;
- Линейная зависимость сопротивления от температуры (положительный температурный коэффициент удельного сопротивления – для металлов);
- Достаточно высокие механические характеристики (прочность, твердость, ударная вязкость, упругость, пластичность, относительное удлинение и др.);
- Достаточно высокие физико-химические характеристики (коррозионная стойкость, нагревостойкость, влагостойкость, износостойкость, химикостойкость и т.д.).

Основные характеристики проводников:

- Удельное электрическое сопротивление (ρ) – величина, равная отношению модуля напряженности электрического поля к модулю плотности тока.
- Удельная электрическая проводимость (γ) – величина обратная удельному электрическому сопротивлению.
- Температурный коэффициент удельного сопротивления.
- Контактная разность потенциалов и термоэлектродвижущая сила.

Удельное электрическое сопротивление материала:

$$\rho(t) = \rho_0 (1 + \alpha_\rho t^0),$$

ρ_0 – удельное сопротивление при
температуре $T_0 = 20$ °С;

$TK_\rho = \alpha_\rho$ – средний температурный
коэффициент удельного
сопротивления.

Для расчетов **сопротивления** R провода из материала с удельным электрическим сопротивлением ρ обычно применяется формула:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S},$$

где l – длина проводника;

S – площадь поперечного сечения проводника.

**Температурный коэффициент
удельного сопротивления:**

$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dt}$$

Температурный коэффициент удельного сопротивления.

Он имеет размерность $1/\text{K}$ (или $1/^\circ\text{C}$).

Для металлов TK_ρ всегда положителен и определяется по формуле

$$\text{TK}_\rho = \alpha_\rho = (1/\rho)(d\rho/dT).$$

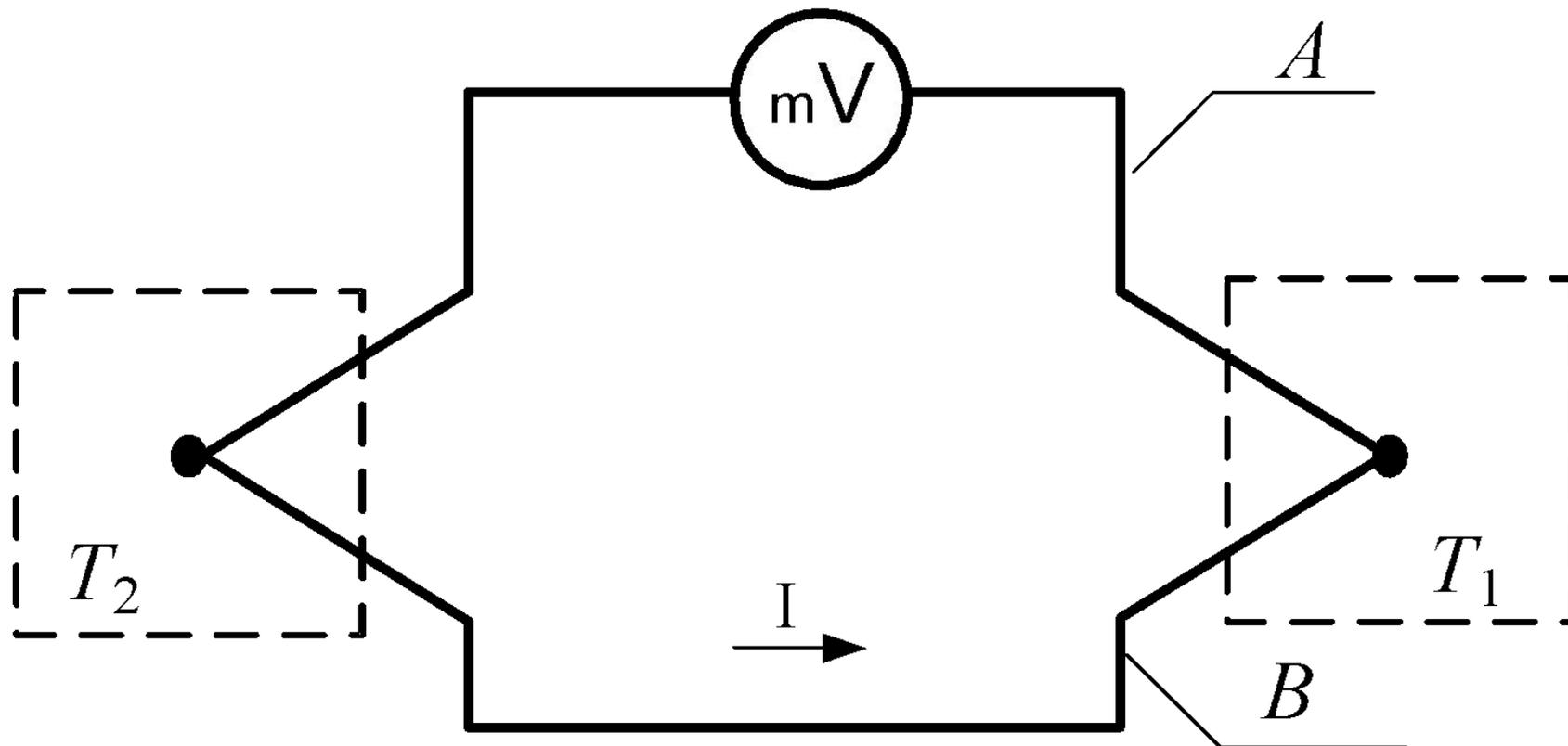
Для сплавов TK_ρ может быть как положительным, так и отрицательным.

Для некоторых специальных сплавов TK_ρ
близок к нулю.

Контактная разность потенциалов и термоэлектродвижущая сила

Между двумя различными металлическими проводниками в месте их соединения возникает контактная разность потенциалов, обусловленная различием работы выхода электронов из разных металлов, неодинаковой концентрацией электронов и давлением электронного газа.

Разность потенциалов U , появляющаяся на концах разомкнутой электрической цепи, состоящей из двух различных проводников, контакты которых находятся при различных температурах ($T_1 < T_2$), называется термоэлектродвижущей силой (термо-ЭДС).



**Схема возникновения термо-
ЭДС**

Контактная разность потенциалов между проводниками А и В равна

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B + \frac{kT}{e} \cdot \ln \frac{n_{0A}}{n_{0B}},$$

где k – постоянная Больцмана;

T – рабочая температура спая;

e – абсолютная величина заряда электрона;

φ_A и φ_B – потенциалы соприкасающихся металлов А и В;

n_{0A} и n_{0B} – концентрация электронов в металлах.

а контактная разность потенциалов между проводниками В и А равна

$$U_{BA} = \varphi_B - \varphi_A + \frac{kT}{e} \cdot \ln \frac{n_{0B}}{n_{0A}},$$

Если спаи будут находиться при разных температурах ($T_2 > T_1$), на концах разомкнутой электрической цепи возникает разность потенциалов U , называемая **термоЭДС** и равная

$$U = U_{AB} - U_{BA} = \psi_T (T_2 - T_1),$$

Где ψ_T – коэффициент термоЭДС
(относительная или удельная термоЭДС):

$$\psi_T = \frac{k}{e} \ln \frac{n_{0A}}{n_{0B}}$$

Причины возникновения термоЭДС:

- температурная зависимость контактной разности потенциалов;
- различие значений работы выхода электронов в металлах;
- неодинаковая концентрация электронов в металлах спая;
- увлечение электронов фотонами (квантами тепловой энергии).

Термоэлектродвижущая сила (термо-ЭДС)
- разность потенциалов, появляющаяся на концах разомкнутой электрической цепи, состоящей из двух различных проводников или полупроводников, контакты которых находятся при различных температурах.

Теплопроводность проводников

Теплопроводность определяет способность проводников передавать тепловую энергию. Она характеризуется коэффициентом теплопроводности λ_T .

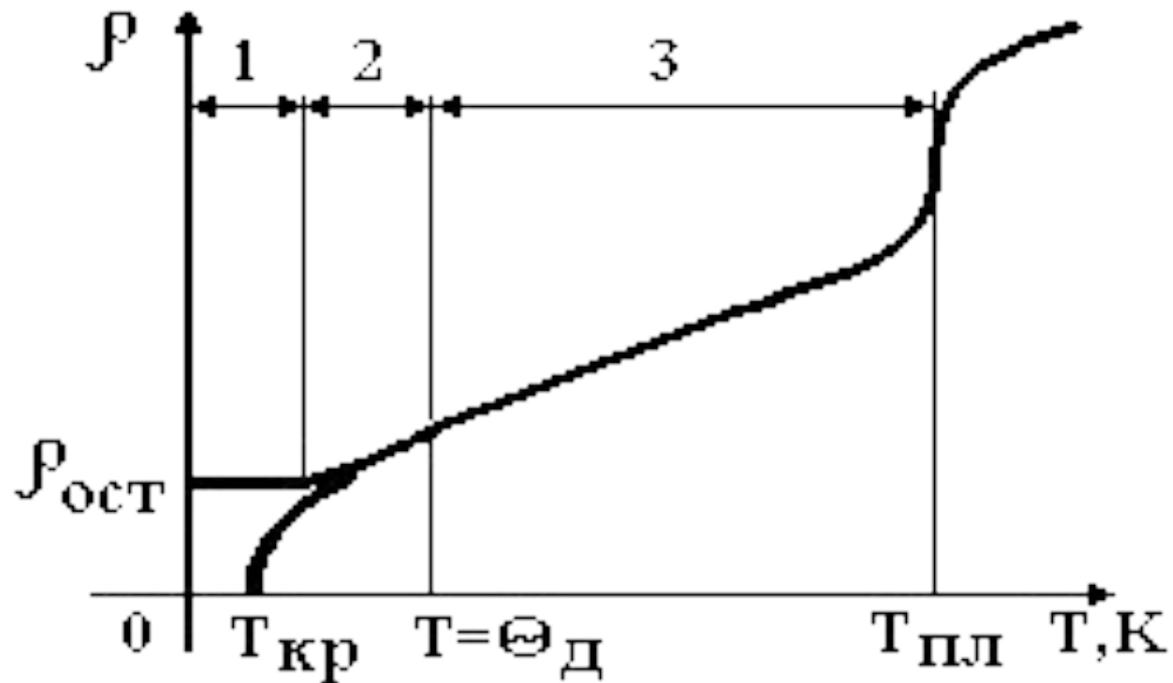
Коэффициент теплопроводности численно равен потоку теплоты, проходящему через площадку единичной площади, при перепаде на ее гранях температуры $1\text{ }^\circ\text{C}$.

Лучше всего передают тепло металлы.

Для меди λ_T равен 400 Вт/мК , для серебра – 418 Вт/мК , для алюминия – 200 Вт/мК , для нержавеющей стали – 20 Вт/мК .

Электропроводность металлов зависит от температуры.

Экспериментально установлено, что в большинстве случаев зависимость электропроводности металлов от температуры. близка к линейной. (Обычно ее приводят в виде температурной зависимости удельного сопротивления).



Зависимость удельного сопротивления меди от температуры

Характерными температурами являются:

$T_{пл}$ - температура плавления;

θ_D - температура Дебая;

$T_{кр}$ - температура перехода в сверхпроводящее состояние

Классификация проводников 1 рода

- *Материалы высокой удельной проводимости (ρ менее 0,05 мкОм.м)*
- *Материалы высокого удельного сопротивления (ρ более 0,3 мкОм.м)*
- *Материалы специального назначения: контактные материалы; материалы для термопар; материалы с особыми свойствами*
- *Композиционные и неметаллические проводники*

Материалы высокой удельной проводимости

- Материалами высокой удельной проводимости являются металлы и сплавы, у которых удельное сопротивление менее 0,05 мкОм.м.
- К этой группе относятся **серебро, медь, алюминий, железо и некоторые сплавы этих металлов: латуни, бронзы, альдрей, магналий и др.**

Электропроводность основных проводниковых металлов

Металл	γ, МСм/м	ρ, мкОм·м	Металл	γ, МСм/м	ρ, мкОм·м
Серебро	67– 62	0,015–0,0 16	Алюми- ний	35–32	0,028–0,0 29 5
Медь	57–54	0,017 9–0,018 2	Железо	10	0,1

Медь

– металл, наиболее широко применяемый в качестве проводникового материала.

Медь обладает целым рядом ценных технологических свойств:

малым удельным сопротивлением;

достаточно высокой механической прочностью;

хорошей обрабатываемостью (легко прокатывается в листы и ленты,

протягивается в проволоку);

хорошей способностью к пайке и сварке;

удовлетворительной стойкостью к коррозии.

Механические и электрические свойства меди существенно зависят от ее состояния и способа изготовления .

Твердотянутая медь марки МТ имеет меньшую проводимость и относительное удлинение, но большую механическую прочность, чем отожженная медь марки ММ.

Медь марки МТ применяется для изготовления волноводов, при изготовлении контактных проводов, шин РУ, коллекторных пластин ЭМ.

Медь марки ММ – для изготовления обмоточных и монтажных проводов и жил силовых кабелей.

Алюминий

– второй широко применяемый проводниковый материал. Он приблизительно в 3,5 раза легче меди и значительно ее дешевле. На воздухе на поверхности алюминия образуется прочная оксидная пленка.

Часто в электротехнике применяются сплавы меди: латуни и бронзы,
и сплавы алюминия: альдрей,
магналий, дюраль.

Сплавы меди: латуни и бронзы, обладающие более высокой механической прочностью и незначительно уступающие по электрическим свойствам чистой меди.

Латуни – сплавы меди с цинком, обладающие более высоким относительным удлинением перед разрывом по сравнению с чистой медью. Это делает их более технологичными при штамповке, протяжке и т. п. Применяются латуни в электротехнике для изготовления всевозможных токопроводящих деталей.

Бронзы – сплавы меди с различными металлами: оловом (оловянные бронзы), алюминием (алюминиевые бронзы), бериллием (бериллиевые бронзы) и т. п.

По электропроводности бронзы уступают меди, но превосходят ее по механической прочности, упругости, сопротивлению истиранию и коррозионной стойкости.

Бронзы применяются для изготовления пружинящих контактов электрических приборов, контактов токоведущих пружин, проводов линий электрического транспорта, пластин коллекторов электрических машин

Альдрей – алюминиевый сплав, в состав которого входит 0,3–0,5 % магния, 0,4–0,7 % кремния, 0,2–0,3 % железа, остальное – алюминий. Этот сплав обладает повышенной механической прочностью (в 2 раза прочнее алюминия), и близок к алюминию по величине удельного сопротивления (0,0317 мкОм·м).

Применяется альдрей для изготовления проводов малонагруженных линий электропередачи.

Магналий – сплав алюминия и магния, отличается низкой плотностью и применяется для изготовления электро- и радиотехнических приборов.

Дюраль – сплав алюминия с медью, магнием и марганцем, имеющий хорошие механические свойства: твердость и коррозионную стойкость. Широко применяется в электротехнике.

Железо (Fe) и сталь - широко используются в качестве проводникового и конструкционного материала.

Чистое железо имеет удельное сопротивление порядка $0,1 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$, значение удельного сопротивления стали (сплава железа с примесью углерода и других элементов) еще выше, но эти сплавы **обладают высокой механической прочностью.**

Сталь как проводниковый материал используется в виде шин, рельсов электрических железных дорог и трамваев (включая «третий специальный контактный рельс» метро).

На электрифицированных железных дорогах рельсы железнодорожного пути используют в качестве второго провода для передачи тягового тока. По рельсам передается сигнальный ток устройств автоблокировки для контроля целостности рельсового пути и регулирования движения поездов (в зависимости от длины свободного участка). Для лучшей передачи тягового и сигнального токов рельсовая линия должна обладать по возможности малым электрическим сопротивлением.

Для всех типов рельсов **удельное сопротивление стали** постоянному току при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$ составляет **$0,21 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$.**

Активное сопротивление рельсов (из-за появления поверхностного эффекта в рельсовой стали) при переменном токе в сильной степени **зависит от частоты тока.**

Значения сопротивления для некоторых типов рельсов

Тип рельса	Сопротивление одной рельсовой нити длиной 1 км, Ом	Площадь поперечного сечения, м ²
P75	0,022	0,00951
P65	0,0253	0,00829
P50	0,032	0,00658

Проводниковые биметаллы

Применяются для уменьшения расхода цветных металлов в проводниковых конструкциях.

- Биметаллический провод представляет собой сталь, покрытую снаружи слоем меди или алюминия. Оба металла соединены друг с другом прочно и непрерывно по всей поверхности их соприкосновения.
- Биметаллический контактный провод для электрифицированного транспорта представляет собой стальную проволоку круглого, овального или прямоугольного сечения, покрытую снаружи слоем меди или алюминия. Стальная сердцевина обеспечивает повышенную прочность на растяжение, а наружный слой обеспечивает хорошую электропроводность.
- Такой провод позволяет повысить натяжение, имеет меньшую массу и допускает достаточно большие токовые нагрузки.
- Чем больше натяжение провода и меньше стрела провеса, тем больше эластичность контактной подвески и более устойчивый токосъем при высоких скоростях движения (200 км/час и более).

Для контактной сети железных дорог применяют биметаллические сталемедные провода марки ПБСМ1 и ПБСМ2 (провод биметаллический сталемедный) сечением 70, 95 и 120 мм².

Диаметр проволоки, мм	Минимальная толщина медной оболочки проволоки, мм		Временное сопротив- ление разрыву, кг/мм ²	Приблизительная масса 1 км проволоки, кг	
	ПБСМ1	ПБСМ2		ПБСМ1	ПБСМ2
2,2	0,11	0,08	75	31,5	31
2,5	0,12	0,09	75	41	40,4
2,8	0,14	0,1	75	50,5	49,7
3	0,15	0,11	75	59	58
4	0,2	0,14	75	104,4	102,8
6	0,2	-	65	236	-

Сплавы высокого удельного сопротивления

- Сплавы для резисторов и измерительных приборов - это сплавы на основе никеля и меди: манганин, константан, нейзельберы
- Жаростойкие сплавы - это сплавы на основе никеля, хрома и железа с присадками других компонентов: нихромы и ферронихромы - фехрали, хромали

**Удельное электрическое
сопротивление (ρ)
сплавов высокого удельного
сопротивления:**

- **манганин - 0,42 – 0,48 мкОм·м;**
- **константан - 0,48 – 0,52 мкОм·м**
- **нейзельберы - 0,44 – 0,58 мкОм·м**
- **нихромы - 1,0 – 1,2 мкОм·м**
- **ферронихромы - 1,1 – 1,6 мкОм·м**

Материалы для изготовления образцовых резисторов, реостатов:

- **Манганин** – сплав на медной основе, содержит около 12 % марганца и 3 % никеля.
- Манганин применяется для изготовления образцовых и точных прецизионных резисторов, шунтов и приборов.
- Изделия из манганина обычно изготавливаются в виде проволоки толщиной до 0,02 мм с эмалевой или иной изоляцией.
- **Константан** – медно-никелевый сплав (средний состав: медь – 60 %, никель – 40 %). Константан используется для термопар, реостатов и нагревательных элементов, которые могут длительно работать при температуре до 450 °С.
- **Нейзильбер** – медно-никелевый сплав, содержит 18 % цинка, 13–16,5 % никеля (вместе с кобальтом) Нейзильбер по сравнению с константаном более дешевый материал и наиболее часто применяется для изготовления реостатов, контактных пружин и других электротехнических изделий.

Материалы для нагревательных элементов

- **Жаростойкие сплавы** – это сплавы на основе никеля, хрома, железа и других компонентов.
- Устойчивость этих сплавов к высоким температурам объясняется наличием на их поверхности оксидов хрома Cr_2O_3 и закиси никеля NiO . Наличие железа повышает их жаропрочность.
- Сплавы системы «железо–никель–хром» с небольшим содержанием железа называются нихромами, а при повышенном содержании железа – ферронихромами.
- При замене в составе сплавов никеля на алюминий или хром получают сплавы, имеющие название фехрали и хромали.
- Основная область применения жаропрочных сплавов – электронагревательные приборы, реостаты, элементы электротермической техники .
- Для электротермической техники и электрических печей большой мощности обычно используют более дешевые, чем нихром, сплавы: фехрали, хромали.

Проводниковые материалы специального назначения

К данной категории относятся металлы и сплавы, обладающие **особыми физико-химическими, механическими и электрическими свойствами.**

По назначению такие материалы можно подразделить на **группы:**

- контактные материалы;
- материалы для изготовления термопар;
- припои;
- материалы для электровакуумных приборов.

Электрический контакт- это

- место соприкосновения или соединения составных частей электрической цепи, обеспечивающее прохождение между ними тока.
- приспособление, обеспечивающее такое соприкосновение или соединение.

В некоторых случаях контактом называют поверхность соприкосновения двух токопроводящих частей.

Контактные материалы

Неразъемные контакты (сварные или паяные):

медь, алюминий, серебро , биметаллы.

Разрывные контакты :

- *слаботочные разрывные контакты*
- чистые тугоплавкие металлы: вольфрам и молибден;
- платина, золото, серебро, сплавы на их основе; металлокерамические композиции (например, Ag – CdO).
- *Сильноточные разрывные контакты:*
- твердая медь;
- металлокерамические материалы и композициям, например, серебро - никель, серебро - графит, медь - вольфрам - никель и др.

Скользящие контакты:

- контактные пары из металлического и графитосодержащего материалов, проводниковые бронзы, латуни (сплавы меди и цинка),
- твердая медь и медь, легированная серебром (для коллекторных пластин) .

Фриттинг контактов (или когерерный эффект)

- При замыкании контактов, находящихся под напряжением, в первое время электроны проходят через изоляционные пленки вследствие туннельного эффекта, заключающегося в проникновении электронов через потенциальный барьер.
- При этом может произойти пробой наиболее тонких участков пленки и образование в них металлических перешейков. Это явление и называется фриттингом.
- С увеличением силы нажатия на контакты пленки в местах соприкосновения лопаются и продавливаются, образуя зоны чисто металлического касания. Чем выше сила нажатия в контакте, тем больше количество зон касания и их

Сплавы для термопар

Для изготовления термопар наиболее широко применяются :

- константан,
 - платино-родиевый сплав,
 - специальные сплавы на основе никеля:
1. хромель – сплав никеля и хрома,
 2. алюмель – сплав никеля с алюминием, кремнием и марганцем,
 3. копель – сплав никеля и меди с кобальтом.

Материалы, образующие термопару, выбираются таким образом, чтобы в диапазоне измеряемых температур, они обладали максимальным значением термо-ЭДС (для снижения погрешности измерения).

Согласно этому условию для измерения температуры могут применяться следующие термопары:

- медь – константан и медь – копель до температуры 350 °С,
- железо – константан, железо – копель, хромель – копель до 600 °С,
- хромель – алюмель до 1000°С, п
- платино-родий – платина до 1600 °С.

Знак термо-ЭДС у термопар зависит от направления тока в холодном и горячем спае. Принято считать, что в холодном спае ток протекает от первого названного в паре материала ко второму, а в горячем наоборот.

Припой

- Припои представляют собой чистые металлы или сплавы, применяемые в качестве связующего вещества при пайке металлических частей.
- Припой должен иметь температуру плавления значительно ниже, чем соединяемые им металлические части.
- Припои делятся на легкоплавкие и тугоплавкие.
- Легкоплавкие, или мягкие, припои имеют температуру плавления ниже 500°C , а тугоплавкие (твердые) - выше 500°C .
- Из легкоплавких наиболее широко применяют оловянно-свинцовые припои.
- К тугоплавким припоям относятся медно-цинковые (ПМЦ-54, ПМЦ-48 и др.) и медно-серебряные сплавы (ПСр-72, ПСр-70, ПСр-50 и др.), а также сплавы алюминия с медью цинком и кремнием.
- Флюсы могут представлять собой твердые порошкообразные вещества (бура, борная кислота, канифоль) или жидкости (водный раствор хлористого цинка, спиртовой раствор канифоли). Иногда применяют полужидкие флюсы - пасты.

Применение цветных металлов в электротехнике и энергетике.

- Вольфрам (W) - это самый тугоплавкий металл серого цвета. Его температура плавления составляет 3380 °С. Удельное электрическое сопротивление вольфрама составляет $55 \cdot 10^{-9}$ Ом*м. Относительное удлинение перед разрывом составляет 4 %. Изделия из вольфрама весьма хрупки, но после механической обработки ковкой и волочением вольфрам приобретает волокнистую структуру. (Таким способом получают гибкие тонкие вольфрамовые нити). С уменьшением толщины вольфрамовой проволоки сильно возрастает ее предел прочности при растяжении.
- Основное применение вольфрама — изготовление нитей ламп накаливания.
- Вольфрам применяют также для изготовления контактов, разрывающих ток. Такие контакты устойчивы в работе и мало изнашиваются ввиду высокой твердости вольфрама. Вследствие большой тугоплавкости они не привариваются, практически не подвержены электрической эрозии под действием электрической

- **Молибден (Mo)** по своему внешнему виду и свойствам похож на вольфрам, однако он почти в два раза легче вольфрама. Из всех тугоплавких металлов молибден имеет самое низкое значение удельного сопротивления, которое составляет $57 \cdot 10^{-9}$ Ом*м. Как и вольфрам, молибден широко применяется в электровакuumной технике, только при менее высоких температурах. На воздухе молибден начинает окисляться при температуре 400 °С, а при повышении температуры до 600 - 700 °С интенсивность окисления резко возрастает. Поэтому детали из молибдена должны работать в вакууме или в инертном газе.
- Механическая прочность молибдена в очень большой степени зависит от механической обработки материала и вида изделия. Молибден применяется и в качестве материала для разрывных электрических контактов, и в качестве электродов в радиолампах.

Золото (Au) - металл желтого цвета, обладающий высокой пластичностью. Удельное сопротивление золота составляет $24 \cdot 10^{-9}$ Ом*м.

Из золота можно получать фольгу толщиной до 0,01 мкм. С кислотами и щелочами золото не взаимодействует, растворяется только в «царской водке» (смесь азотной и соляной кислот). В электротехнике используется как **контактный материал** для коррозионно-устойчивых покрытий в слаботочных устройствах, электродов фотоэлементов, фоторезисторов и полупроводниковых приборов.

Платина (Pt) - это блестящий тугоплавкий металл серовато-белого цвета, весьма стойкий к химическим реагентам и практически не окисляющийся при его нагревании вплоть до температуры плавления. Его удельное сопротивление составляет $105 \cdot 10^{-9}$ Ом*м. При механической обработке платина вытягивается в очень тонкие нити и ленты.

Платину применяют для изготовления **высокотемпературных термопар** (до 1600 °С).

Особо тонкие нити из платины (диаметром около 1 мкм) применяют для подвесок подвижных систем в электрометрах и других **чувствительных приборах**. Для изготовления контактов платина редко применяется в чистом виде, но служит основой для контактных сплавов с никелем, серебром, золотом и иридием.

Палладий (Pd) - серебристо-белый металл. По многим свойствам он близок к платине и в ряде случаев может ее заменять, так как в несколько раз дешевле. Это самый легкий из благородных металлов и наиболее тугоплавкий ($T_{пл} = 1550 \text{ }^\circ\text{C}$).

Удельное электрическое сопротивление палладия составляет $110 \cdot 10^{-9} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Палладий способен поглощать водород. С этой целью его используют в электровакуумной технике.

Наиболее часто палладий и его сплавы (с серебром и медью) применяются в качестве контактных материалов.

Никель (Ni) - серебристо-белый ковкий и тягучий металл, Его температура плавления $T_{пл}$ составляет $1455 \text{ }^\circ\text{C}$, удельное электрическое сопротивление $\rho = 73 \cdot 10^{-9} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Никель после отжига имеет достаточную механическую прочность, легко поддается механической обработке: ковке, прессовке, прокатке, штамповке, волочению.

Никель применяют в электровакуумной технике в качестве электродов и арматуры в электронных лампах, в качестве компонента ряда жаропрочных (до $1000 \text{ }^\circ\text{C}$) магнитных и проводниковых сплавов, при производстве щелочных кадмиево-никелевых и железоникелевых аккумуляторов.

Кобальт (Co)- пластичный блестящий белый металл с температурой плавления $T_{пл} = 1500 \text{ }^\circ\text{C}$. Удельное электрическое сопротивление $\rho = 64 \cdot 10^{-9} \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Кобальт химически мало активен и на воздухе не окисляется. Кобальт применяется в качестве составной части многих магнитных сплавов и жаростойких электропроводящих сплавов с небольшими температурными коэффициентами линейного расширения.

Композиционные и неметаллические проводники

В современных условиях к проводниковым материалам предъявляются требования:

- высокая электропроводность,
- высокая механическая прочность, твердость, упругость и пластичность,
- устойчивость к коррозии в различных средах и т.п.

Часто металлические проводники не могут одновременно удовлетворить всем причисленным требованиям, кроме того большинство металлов являются дорогостоящими, дефицитными материалами.

Поэтому в настоящее время широкое применение получили новые твердые проводниковые материалы :

- металлокерамические и композиционные материалы,
- материалы на основе электротехнического угля и графита

Металлокерамические материалы

- **Металлокерамическими называют материалы, получаемые прессованием из металлических порошков с последующим спеканием их при высоких температурах (1000–1400 °С).**
- **сходные порошкообразные массы состоят из двух или более порошков различных металлов, из которых один должен обладать более высокой температурой плавления по сравнению с порошками других металлов.**
- **При высокотемпературной обработке – спекании изделий из порошкообразной массы более легкоплавкие порошки плавятся и заполняют поры между частицами тугоплавкого металла. В результате этого получают монолитные металлокерамические изделия.**

Применение металлокерамические детали

- В качестве сильноточных размыкающих дугу контактов применяют металлокерамические детали, изготавливаемые из порошков серебра, вольфрама (40–50 %) и никеля (2–3 %). Металлокерамические детали этого состава обладают пластичностью и допускают все виды механической обработки.
- Металлокерамические контакты, изготавливаемые из порошков меди и графита, отличаются высокой устойчивостью к свариванию при размыкании больших токов (30–100 кА). Это достигается не только составом и структурой металлокерамического материала на основе порошков меди и графита, но и наличием в материале пор. В производстве металлокерамических изделий количество пор в них можно изменять в широких пределах.

Применение композиционных материалов для изготовления

резисторов:

- Маломощные непроволоочные резисторы (объемные и пленочные) на основе вольфрама, молибдена, тантала, хрома и их оксидов. (Материалы для пленочных резисторов: механическая смесь порошков металлов и их соединений с органической или н.е органической связкой).
- Силовые резисторы (бетэловые резисторы)- композиции на основе электротехнического электропроводящего бетона - **бетэла**.

(Бетэл – композиционный материал с электронной проводимостью, полученный на основе электротехнического угля, цементного камня. воды и минерального связующего. Это дешевый и доступный материал).

Для улучшения механических характеристик и влагостойкости в бетэловые резисторы обычно вводят неорганические наполнители (кварцевый песок, полевой шпат, слюду мускавит, кальцит).

Неметаллические проводниковые материалы: электротехнический уголь и графит

Исходные материалы (графит, сажа, антраци) проходят специальную термообработку при температуре 1200–1300 °С, затем в них добавляют связующие вещества и. Затем полученные изделия или их заготовки (блоки) подвергают высокотемпературной обработке – обжигу в специальных печах.

В результате обжига изделия приобретают механическую прочность и способность к механической обработке. При этом уменьшается величина их удельного электрического сопротивления.

Удельное электрическое сопротивление электротехнического угля составляет 8 – 30 мкОм·м.

Неметаллические проводниковые материалы применяются для изготовления:

щеток электрических машин,

контактов;

электродов для электродуговых печей и ванн, прожекторов,

непроволочных высокоомных резисторов,

Разрядников и электровакуумных приборов.

Графит - кристаллическая модификация углерода. Это непрозрачный, мягкий, электропроводный материал. Структура у него слоеная. В слое атомы углерода соединены в бесконечные шестичленные кольца. Каждое единичное кольцо представляет собой аналог бензольного кольца. Удельное сопротивление зависит от направления измерения. Если приложить напряжение поперек слоев, электропроводность составит 10^4 См/м, если приложить напряжение в плоскости слоев, электропроводность достигает $21 \cdot 10^6$ См/м.

В последние годы открыты новые модификации чистого углерода - фуллерены. Это соединения многих атомов углерода C_n , где $n=60, 84$ и т.д. Эти атомы соединены так, что образуется сфера из них, с пустотой внутри. Фуллерены обладают неожиданными свойствами и их исследования бурно продолжаются (при разработке наноматериалов).

Проводники

Материалы высокой проводимости	Материалы высокого удельного сопротивления	Материалы специального назначения
Медь Алюминий Серебро Сталь	Манганин Константан Нихром Нейзильбер Фехраль	Вольфрам Золото Алюмель Уголь и графит

Сверхпроводимость

- физическое явление, наблюдаемое у некоторых веществ (сверхпроводников), при охлаждении их ниже определенной критической температуры T_c , и состоящее в обращении в нуль электрического сопротивления постоянному току и выталкивания магнитного поля из объема образца (эффект Мейснера). Явление сверхпроводимости открыто в 1911 г.

Х. Каммерлинг-Оннесом.

Сверхпроводниковый материал, охлажденный до температуры близкой к температуре абсолютного нуля (0 K), полностью теряет свое электрическое сопротивление (меняется характер взаимодействия между электронами – образуются электронные пары)

Поверхностный ток в сверхпроводнике, занимая тонкий слой вблизи поверхности материала, создает магнитное поле, уничтожающее внутри сверхпроводника внешнее магнитное поле. Поэтому формально сверхпроводник ведет себя как идеальный диамагнетик.

**В настоящее время известно уже 35
сверхпроводниковых металлов и более
тысячи сверхпроводниковых сплавов и
химических соединений различных
элементов.**

**Металлы, обладающие малыми значениями
сопротивления (при нормальной температуре)
: серебро, медь , золото, платина, при низких
температурах (около Мк) перевести в
сверхпроводящее состояние не удалось.**

Сверхпроводимость

исчезает под действием следующих факторов:

- 1) повышение температуры;
- 2) действие достаточно сильного магнитного поля;
- 3) достаточно большая плотность тока в образце.

Различают:

- **Сверхпроводники первого рода,**
- **Сверхпроводники второго рода,**
- **Сверхпроводники третьего рода -
высокотемпературные
сверхпроводники (ВТСП)**

Применение сверхпроводников

- **Сверхпроводящие магниты**
- **Сверхмощные генераторы и линии электропередач.**
- **Аккумуляторы электроэнергии.**
- **Поезда на магнитной подушке**
- **Сверхкомпьютеры**
- **СКВИДы (сверхпроводящие квантовые интерференционные детекторы).**

Криопроводники -

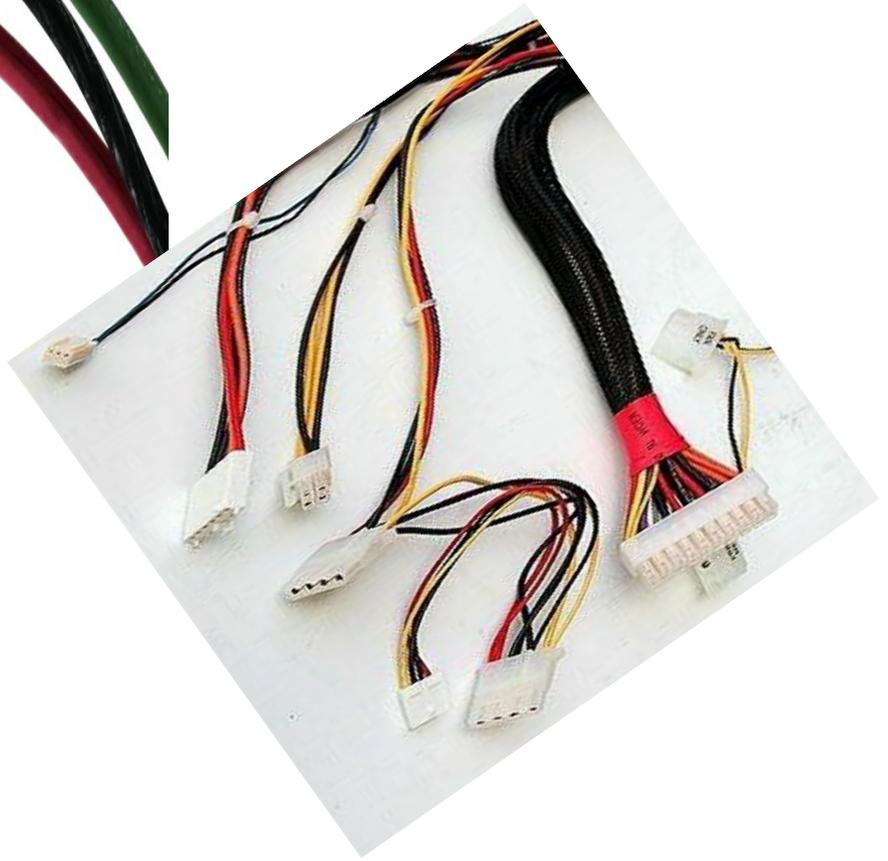
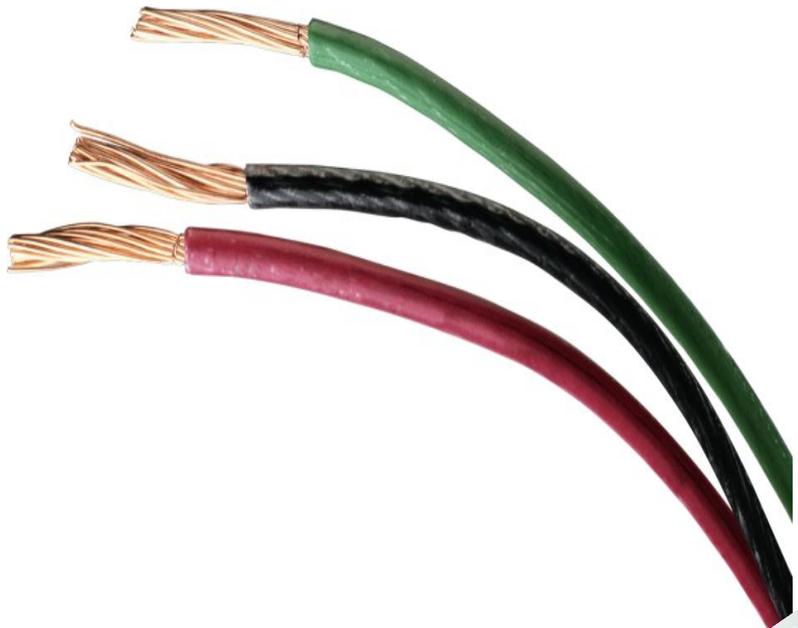
материалы, удельное сопротивление которых достигает малых значений при криогенных температурах (ниже -173°C).

Сверхпроводящее состояние в этих материалах не наблюдается.

В качестве криопроводников наиболее часто применяется чистая медь и алюминий (марки А999 с 0.001% примесей), бериллий (0.1% примесей). При температуре жидкого гелия у алюминия А999 удельное электрическое сопротивление равно $(1 - 2) \cdot 10^{-6} \text{ мкОм} \cdot \text{м}$.

Применение криопроводников:

- жилы кабелей,
- провода, работающие при температурах жидкого водорода (-252.6°C), неона (-245.7°C) и азота (-195.6°C).





Сверхпроводники – это идеальные проводники, обладающие дополнительным свойством: металл в сверхпроводящем состоянии не позволяет магнитному потоку проникнуть во внутрь.