

Тема 1. Электрорадиоматериалы радиоэлектронных средств

Лекция 2: Проводниковые материалы. Металлы

1. Классификация и основные свойства проводников.
2. Металлы высокой проводимости. Сплавы высокого сопротивления.
3. Неметаллические проводниковые материалы.
4. Основные металлы и сплавы, используемые в интегральных микросхемах.

1 Классификация и основные свойства проводников

Металлы и их сплавы являются основными из применяемых в электротехнике твердых материалов.

По удельному электрическому сопротивлению металлические проводниковые материалы можно разделить на две группы:

- *материалы высокой проводимости*, у которых при нормальной температуре $\rho < 0.05$ мкОм·м;
- *металлы и сплавы с высоким сопротивлением*, имеющие при тех же условиях $\rho > 0.03$ мкОм·м.

Особая группа - криопроводники и сверхпроводники, которые обладают ничтожно малым удельным электрическим сопротивлением при температурах, близких к нулю.

По *своему строению* металлические проводники представляют собой вещества *поликристаллического строения*, т.е. они состоят из множества мелких кристаллов.

К *электрическим характеристикам* проводниковых материалов можно отнести:

- *удельное сопротивление* ρ или обратную величину – *удельную проводимость* $\sigma = 1/\rho$, равную
$$\sigma = qNb$$

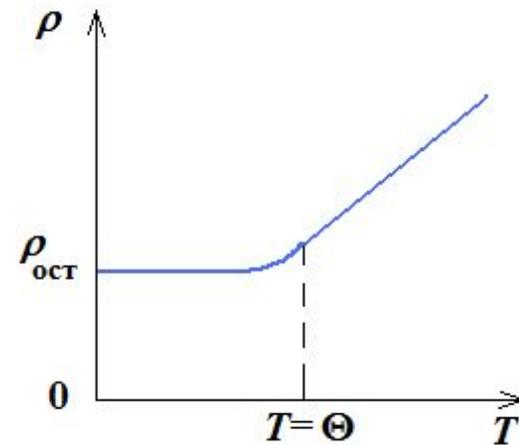
(Здесь q - заряд частицы; N - число находящихся в единице объема вещества носителей заряда [м^{-3}]; δ - коэффициент пропорциональности, называемый подвижностью частицы и связывающий между собой направленную скорость частицы и напряженность электрического поля);

- *контактную разность потенциалов*
- *термоэлектродвижущую силу (термоЭДС);*
- *работу выхода электронов из металла.*

Особенности внутреннего строения приводит к тому, что **удельное сопротивление проводников ρ зависит от** сопротивления, обусловленного **тепловыми колебаниями решетки $\rho_{\text{тепл}}$** , и удельного сопротивления, вызванного **наличием дефектов в кристаллической решетке $\rho_{\text{ост}}$** :

$\rho = \rho_{\text{тепл}} + \rho_{\text{ост}}$ Зависимость удельного сопротивления от температуры

⊖ - температура Дебая, при которой тепловые колебания влияют больше, чем деформации в решетке.



Изменение удельного сопротивления металлических проводников с температурой принято характеризовать *температурным коэффициентом удельного сопротивления $T\kappa\rho$ или α_ρ (K^{-1})*. Если температура изменяется в узких пределах, то пользуются средним температурным коэффициентом удельного сопротивления:

$$\alpha_\rho = \frac{\rho_1 - \rho_0}{\rho_0(T_1 - T_0)}$$

где ρ_0 - удельное сопротивление при начальной температуре T_0 ;
 ρ_1 - удельное сопротивление при температуре T_1 .

Для металлов α_ρ составляет $4 \cdot 10^{-3} K^{-1}$,
для сплавов - $10^{-4} \boxtimes 10^{-8} K^{-1}$.

Требования к металлическим проводниковым материалам:

- высокая электропроводность;
- механическая прочность;
- пластичность (для тонких проводов, фольги);
- стойкость против окисления.

Основной характеристикой, определяющей механическую прочность проводников, является *предел прочности при растяжении*.

Характеристикой, определяющей пластичность, может быть *относительное удлинение материала при растяжении*.

Примеси, растворимые в металле, заметно увеличивают его удельное сопротивление, т.е. уменьшают его электропроводность. В связи с этим металлы очищают от примесей (серы, фосфора, азота, кислорода и других примесей). Их доля не должна превышать сотых долей процента.

2 Металлы высокой проводимости. Сплавы высокого сопротивления

Цветные металлы, используемые в радиоэлектронике :

- *алюминий и его сплавы* (как конструкционные материалы);
- *медь и её сплавы* (латунь – сплав с цинком; бронзы – сплавы с алюминием, бериллием, фтором). (Конструкционные материалы, материалы для создания электрорадиоэлементов);
- *цинк* – только как основной компонент или покрытие для стальных изделий;
- *благородные металлы: золото, серебро, платина, палладий*.
Применение: для покрытия контактных устройств;
- *олово и свинец* – составные части припоев. Олово используется для покрытия металлов, свинец – в качестве оболочки кабелей;
- *ртуть* применяется для создания катодов, для ртутных контактов;
- *все остальные металлы*, как правило, используются в виде компонентов различных сплавов, придающих им особые свойства.

Металлы и сплавы высокой проводимости должны иметь высокую прочность, пластичность, коррозионную стойкость, хорошо свариваться и подвергаться пайке.

Медь. Температура плавления 1083°C . Характеризуется:

- высокой пластичностью;
- высокой электропроводностью ($TK \rho = 0,004 \text{ K}^{-1}$ – для всех марок меди);
- высокой механической прочностью.

Алюминий. Температура плавления 658°C . Характеризуется:

- высокой электропроводностью (TKr для всех марок $0,00423 \text{ K}^{-1}$);
- доступностью;
- стойкостью к атмосферной коррозии.
- Применение: Проволока для проводов из алюминия с примесями более $0,05\%$, из алюминия с примесями электроды электромагнитных конденсаторов, фольгу.

Серебро. Температура плавления 960°C . Окисление с температуры 200°C . Характеризуется:

- наивысшей электропроводностью;
- высокой теплопроводностью;
- стойкостью к окислению;
- механические характеристики близки к меди.

Применяется: Для выполнения слабо нарушаемых контактов, обкладок конденсаторов, припоя, защитных слоев на медных жилах.

Золото. Температура плавления 1063° . Характеризуется:

- не окисляется даже при высоких температурах;
- имеет высокую пластичность (тонкая проволока и фольга);
- не растворяется в серной, азотной кислотах и щелочах.

Применяется: для контактных покрытий; для коммутации малых токов в микросхемах; для покрытия стенок волноводов и резисторов СВЧ.

Хром. Температура плавления равна 1903°C .

Применяется: для тонкопленочных микроэлектронных схем и тонкопленочных резисторов.

Железо. Характеризуется:

- высокой механической прочностью;
- высоким удельным сопротивлением (даже для чистого железа $\text{TK}\rho$ составляет порядка $0,1 \text{ мкОм м}$);
- малой коррозионной стойкостью.

Бронза: медь и олово (*оловянная бронза*); медь и алюминий (*алюминиевая бронза*); медь и бериллий (*бериллиевая бронза*).

Применяется: для токопроводящих пружин, проволоки, контактных частей.

По электропроводности уступает меди, но превосходит ее по механической прочности, упругости, коррозионной стойкости.

Латунь - сплав меди и цинка.

Применение: для зажимов, контактов, прижимных деталей.

Сплавы высокого сопротивления:

Манганин: $Cu=85\%$, $Mn=12\%$, $Ni=3\%$; $\rho = 0,42 \div 0,48 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$;
 $TK\rho = 6 - 50 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$.

Может вытягиваться в проволоку диаметром до 0,02 мм.

Применяется: Для изготовления датчиков гидростатического давления (его сопротивление линейно возрастает с ростом давления от 0 до 1 ГПа).

Константан: $Cu=60\%$, $Ni=40\%$. $\rho = 0,48 \div 0,52 \text{ мкОм}$;
 $TK\rho = 5 \div 25 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$.

Применяется: Для изготовления реостатов, электронагревательных элементов.

Сплавы высокого сопротивления на основе железа применяют, в основном, для электронагревательных приборов.

Выбор материала

Контактные материалы подразделяются на разрывные, скользящие, неподвижные.

Качество *зажимного (неподвижного) контакта* определяется способностью материала к пластической деформации, сл., контактные поверхности покрываются мягким коррозионно-стойким металлом: оловом, серебром, кадмием, др.

Для *размыкающих контактов* предъявляются требования устойчивости к коррозии, стойкости к свариванию и действию электрической эрозии, стойкости к действию сжимающих и ударных нагрузок, высокие проводимость и теплофизические свойства. Материалы: чистые тугоплавкие металлы (вольфрам, молибден), благородные металлы и их сплавы.

Для *скользящих контактов* выдвигаются требования высокой стойкости к истирающим нагрузкам. В связи с этим применяются бронза и латунь.

3 Неметаллические проводниковые материалы

Твердые неметаллические материалы – это материалы на основе углерода, так называемые электроугольные изделия.

Сырье для изготовления – сажа, графит или антрацит. В качестве связки используют каменноугольную смолу или жидкое стекло.

Угольные заготовки проходят процесс обжига при температуре до 2200°C . $TK\rho$ у угольных заготовок отрицательный.

Применение: Угольные электроды используются для работы при высоких температурах (температура обжига до 3000°C).

Для образования скользящего контакта применяются щетки.

Угольные порошки, изготавливаемые из антрацита, применяют для микрофонов.

Угольные заготовки, включая, природный графит, сажу, кирипический углерод, бороуглеродистые пленки, применяются для изготовления непроволочных резисторов.

4 Основные металлы и сплавы, используемые в интегральных микросхемах

Интегральные схемы, выполняемые на основе полупроводников и пленок, широко *применяются*:

в высокочастотных и сверхвысокочастотных изделиях электронной техники; для создания высокопрецизионных тонкопленочных резисторов; в качестве подложек с токопроводящими дорожками для гибридных интегральных схем.

Данные *схемы могут включать* в себя комбинации различных элементов: омических (проводники, сопротивления, контактные площадки); реактивных (индуктивности, полосковые фильтры, согласователи); комбинированных аттенюаторов; резонаторов; металлизированных переходных отверстий.

Технология производства основана на применении вакуумного напыления различных металлов на диэлектрическую подложку с последующим формированием методами фотолитографии, гальванического осаждения и химического травления проводящих структур заданной конфигурации.

Учитываются требования сборочных технологий, таких как посадка кристаллов на эвтектику, термокомпрессионная сварка, пайка различными припоями, защита от внешней среды и другие.

В качестве материалов *проводящих слоев* используется медь, никель, алюминий, золото, платина.

В качестве *резистивных слоев* применяются никель / хром, а также резистивные сплавы.

Для создания *барьерных слоев* применяются титан, никель.

Адгезионные слои образуются путем применения хрома, титана, ванадия, никеля / хрома.