

Министерство образования Российской Федерации
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ»

Факультет электроники
Кафедра микроэлектроники

Материалы и элементы электронной техники Ч.І

доц. Лазарева Н.П.

тема: 9

Классификация проводниковых материалов

Классификация проводниковых материалов





Классификация проводниковых материалов

Материалы высокой проводимости

К материалам высокой проводимости относятся проводники с удельным электрическим сопротивлением ρ в нормальных условиях не более $0,1 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$. Наиболее распространенными среди этих материалов – **медь и алюминий**

Отличительные особенности:

- малое удельное сопротивление (только серебро имеет меньшее удельное сопротивление);
- достаточно высокая механическая прочность;
- удовлетворительная в большинстве случаев стойкость к коррозии даже в условиях высокой влажности
- хорошая обрабатываемость – медь прокатывается в листы, ленты и протягивается в проволоку, толщина которой может быть доведена до тысячных долей миллиметра;
- относительная легкость пайки и сварки



Классификация проводниковых материалов

Материалы высокой проводимости (Cu)

Получение меди.

Медь получают путем переработки сульфидных руд, чаще других встречающихся в природе.

Медь, предназначенную для электротехнических целей, обязательно подвергают электролитической очистке.

Полученные после электролиза катодные пластины меди переплавляют в болванки массой 80 – 90 кг, которые прокатывают и протягивают в изделия требуемого поперечного сечения.

Методом холодной протяжки получают твердую (твердотянутую) медь (маркируется МТ), которая имеет высокий предел прочности при растяжении и малое относительное удлинение, а также твердость и упругость при изгибе; проволока из твердой меди пружинит.



Классификация проводниковых материалов

Материалы высокой проводимости (Cu)

Если медь подвергнуть отжигу, т. е. нагреву до нескольких сот градусов с последующим медленным охлаждением, то получится мягкая (отожженная) медь (маркируется ММ), которая сравнительно пластична, обладает малой твердостью и небольшой прочностью, но весьма большим относительным удлинением при разрыве и более высокой удельной проводимостью.

Отжиг меди производят в специальных печах без доступа воздуха, чтобы избежать окисления.

Стандартная медь, по отношению к которой выражают в процентах удельные проводимости металлов и сплавов в отожженном состоянии при 20 °С, имеет удельную проводимость 58 МСм/м, т. е. $\rho = 0,0172$ мкОм·м.



Классификация проводниковых материалов

Материалы высокой проводимости (Cu)

Марки меди. Из выпускаемых в стране марок стандартной меди в качестве проводникового материала используют медь М1 и М0.

Маркировка производится по содержанию примесей в основном металле.

Медь М1 содержит 99,90% Cu, а в общем количестве примесей (0,10%) кислорода должно быть не более 0,08%.

Кислород является одной из наиболее вредных примесей в меди. При повышенном его содержании заметно ухудшаются механические и технологические свойства меди, а также затрудняется пайка и лужение. Медь, содержащая более 0,1% кислорода, легко разрушается при горячей обработке давлением, т. е. обладает красноломкостью.

Лучшими механическими свойствами обладает медь М0 (99,95% Cu), в составе которой содержится не более 0,05% примесей, в том числе не свыше 0,02% кислорода. Такую медь получают путем специального режима плавки. Из меди М0 может быть изготовлена наиболее тонкая проволока.



Классификация проводниковых материалов

Материалы высокой проводимости (Cu)

Свойства меди. Удельная проводимость меди весьма чувствительна к наличию примесей

При содержании в меди 0,5% примеси Zn, Cd или Ag удельная проводимость ее снижается на 5%.

При том же содержании Ni, Sn или Al удельная проводимость меди падает на 25 – 40%.

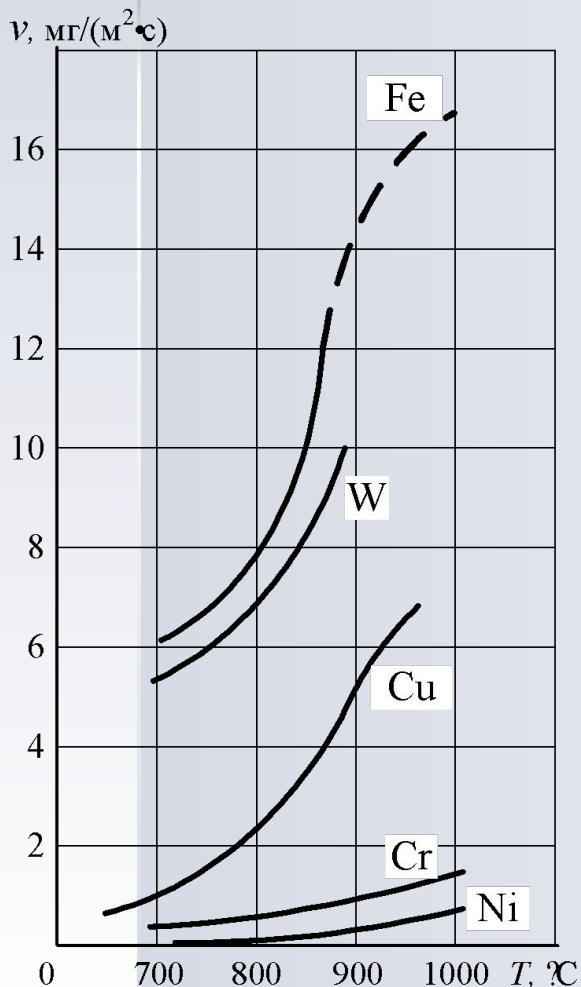
Еще более сильное влияние оказывают примеси Be, As, Fe, Si или P, снижающие ее удельную проводимость на 55% и более.

!Но присадки многих металлов повышают механическую прочность и твердость меди как в холоднотянутом, так и отожженном состояниях.



Классификация проводниковых материалов

Материалы высокой проводимости (Cu)



Недостатком меди является ее подверженность атмосферной коррозии с образованием оксидных и сульфидных пленок.

Скорость окисления быстро возрастает при нагревании, однако прочность сцепления оксидной пленки с металлом невелика.

Вследствие окисления медь непригодна для слаботочных контактов.

При высокой температуре в электрической дуге оксид меди диссоциирует, обнажая металлическую поверхность.

Металлическое отслаивание и термическое разложение оксидной пленки вызывает повышенный износ медных контактов при сильных токах.

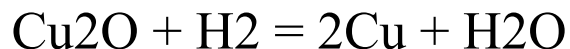


Классификация проводниковых материалов

Материалы высокой проводимости (Cu)

Значительное влияние на механические свойства меди оказывает водород. После водородного отжига твердость меди может уменьшиться в несколько раз. Разрушительное действие водорода сказывается особенно сильно при наличии кислорода, присутствующего в технической меди в виде оксида Cu_2O .

Водород, легко проникая в глубь металла при повышенных температурах, вступает в реакцию:



Давление образующегося в металле водяного пара из-за незначительной скорости диффузии его может достигать нескольких тысяч атмосфер. Это приводит к образованию микротрещин, нарушающих вакуумную плотность материала и придающих ему хрупкость и ломкость. В производстве это явление называют водородной болезнью.



Классификация проводниковых материалов

Материалы высокой проводимости (Cu)

Применение меди. Медь применяют в электротехнике для изготовления проводов, кабелей, шин распределительных устройств, обмоток трансформаторов, электрических машин, токоведущих деталей приборов и аппаратов, анодов в гальваностегии и гальванопластике.

Медные ленты используют в качестве экранов кабелей. Твердую медь употребляют в тех случаях, когда необходимо обеспечить особенно высокую механическую прочность, твердость и сопротивляемость истиранию, например, для изготовления неизолированных проводов.

Если же требуется хорошая гибкость и пластичность, а предел прочности на растяжение не имеет существенного значения, то предпочтительнее мягкая медь (например, для монтажных проводов и шнуров).



Классификация проводниковых материалов

Материалы высокой проводимости (Cu)

Применение меди. Из специальных электровакуумных сортов меди изготавливают детали клистронов, магнетронов, аноды мощных генераторных ламп, выводы энергии приборов СВЧ, некоторые типы волноводов и резонаторов.

Кроме того, медь используют для изготовления фольгированного гетинакса и применяют в микроэлектронике в виде осажденных на подложки пленок, играющих роль проводящих соединений между функциональными элементами схемы.

Несмотря на большой коэффициент линейного расширения по сравнению с коэффициентом расширения стекол, медь применяют для спаев со стеклами, поскольку она обладает рядом замечательных свойств: низким пределом текучести, мягкостью и высокой теплопроводностью.



Классификация проводниковых материалов

Материалы высокой проводимости (Al)

Алюминий – металл серебристо-белого цвета, важнейший из легких металлов.

Удельное сопротивление алюминия в 1,6 раза больше удельного сопротивления меди, но алюминий в 3,5 раза легче меди.

Малая плотность обеспечивает бóльшую проводимость на единицу массы, т. е. при одинаковом сопротивлении и одинаковой длине алюминиевые провода в два раза легче медных, несмотря на большее поперечное сечение.

По сравнению с медью алюминий намного больше распространен в природе и характеризуется меньшей стоимостью.

Алюминий получают электролизом глинозема Al_2O_3 в расплаве криолита Na_3AlFe при температуре 950 °С.



Классификация проводниковых материалов

Материалы высокой проводимости

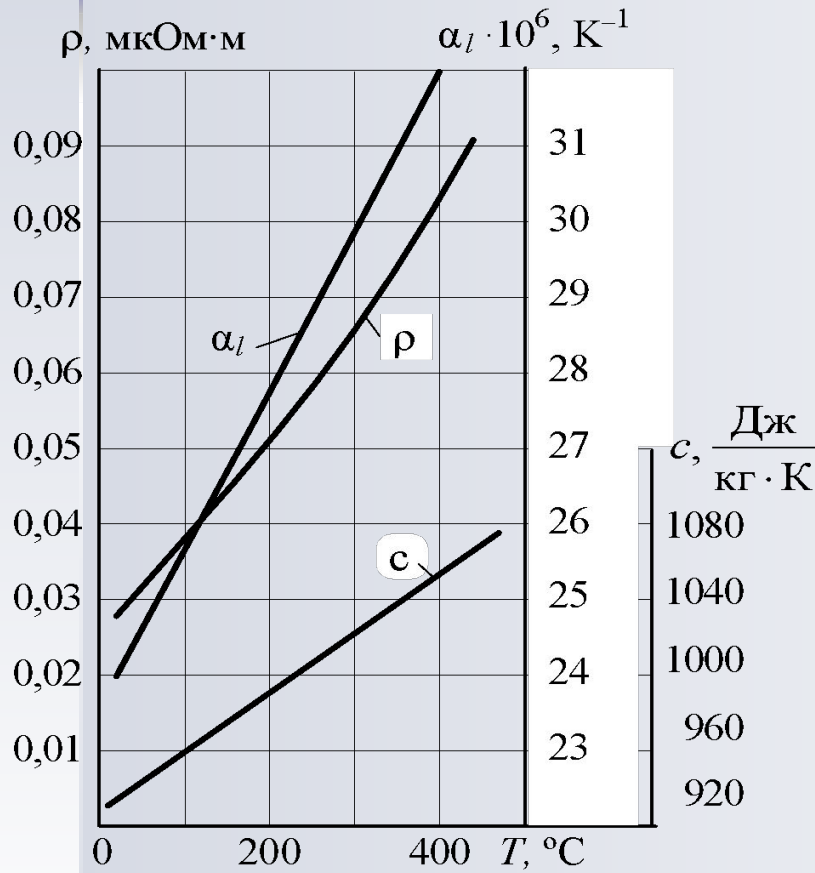
Сравнительные характеристики алюминия и меди

Металл	Тип крист. решетки	Период решетки, нм	Плотность, Мг/м ³	Температура плавления, °С	Удельная теплопроводность, Вт/(м·К)	Температурный коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$	Удельное сопротивление, $\rho \cdot 10^8, \text{Ом}\cdot\text{м}$	Температурный коэффициент удельного сопротивления, $\alpha \cdot 10^3, \text{K}^{-1}$	Работа выхода электронов, эВ	Абсолютная удельная термо-Э.Д.С., мкВ/К	Магнитное состояние
		a									
Алюминий	г.ц.к.	0,404	2,71	660	218	21,0	2,65	4,1	4,25	-1,3	П
Медь	г.ц.к.	0,361	10,22	1084	406	16,6	1,68	4,3	4,4	+1,5	Д

Обозначения: г.ц.к. – гранецентрированная кубическая; Д – диамагнетик, П – парамагнетик

Классификация проводниковых материалов

Материалы высокой проводимости (Al)

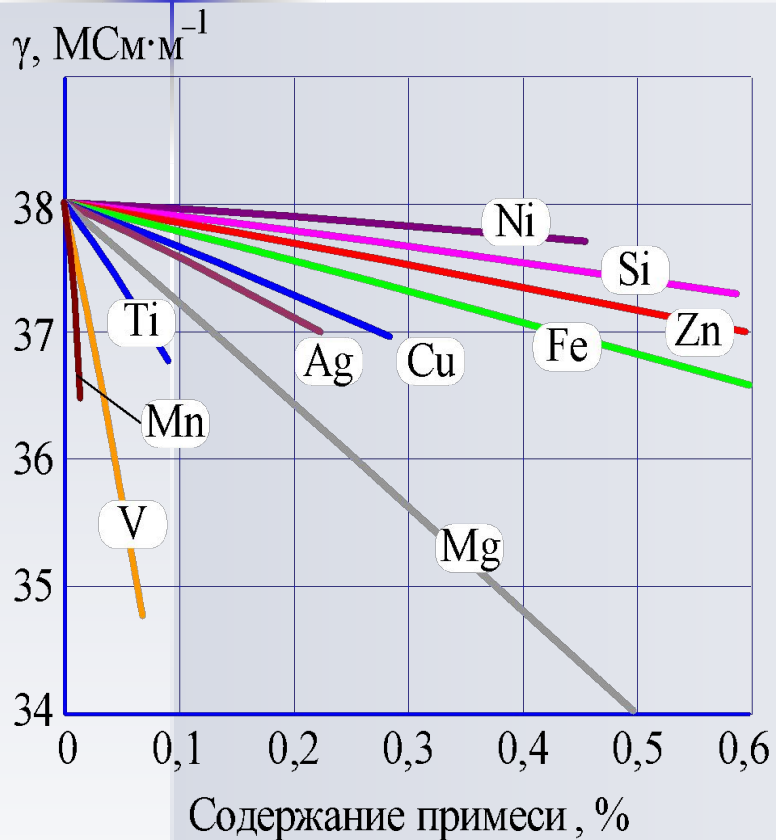


Зависимости удельного сопротивления ρ , удельной теплоемкости c и температурного коэффициента линейного расширения α_l от температуры для алюминия



Классификация проводниковых материалов

Материалы высокой проводимости (Al)



Зависимости удельной проводимости отожженного алюминия от содержания примесей

Примеси в различной степени снижают удельную проводимость алюминия.

Никель, кремний, цинк, железо, мышьяк, сурьма, свинец и висмут, в количестве 0,5% снижают удельную проводимость алюминия в отожженном состоянии не более чем на 2 – 3%.

Примеси меди, серебра и магния, снижающие ее на 5 – 10% при том же процентном содержании по массе.

Очень сильно снижают удельную проводимость алюминия добавки ванадия, титана и марганца.

Примеси, не образующие твердых растворов с алюминием, мало влияют на его электрическую проводимость, в отличие от заметно ее снижающих примесей, образующих с алюминием твердые растворы; исключением является цинк.

Закалка увеличивает сопротивление алюминия в присутствии тех примесей, которые увеличивают свою растворимость при нагревании.

В техническом алюминии главными примесями являются кремний и железо.



Классификация проводниковых материалов

Материалы высокой проводимости (Al)

Марки алюминия.

Для электротехнических целей используют алюминий **технической чистоты АЕ**, содержащий не более 0,5% примесей.

Изготовленная из алюминия АЕ и отожженная при температуре 350 ± 20 °С проволока обладает при 20 °С удельным сопротивлением не более 0,0280 мкОм·м.

Алюминий высокой чистоты А97 (не более 0,03% примесей) применяют для изготовления алюминиевой фольги, электродов и корпусов электролитических конденсаторов.

У **алюминия особой чистоты А999** содержание примесей не превышает 0,001%. Чистоту его контролируют по значению остаточного удельного сопротивления при температуре жидкого гелия, которое не должно превышать $4 \cdot 10^{-6}$ мкОм·м.

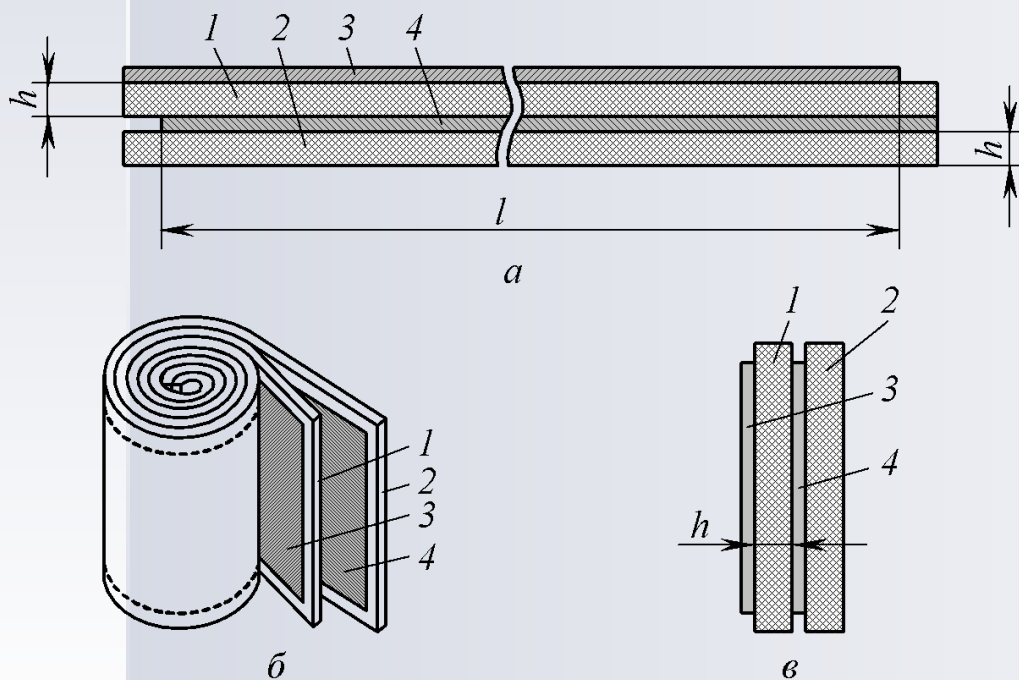


Классификация проводниковых материалов

Материалы высокой проводимости (Al)

Прокатку, протяжку и отжиг алюминия производят аналогично соответствующим операциям для меди.

Из алюминия путем прокатки можно получать очень тонкую (6 – 7 мкм) фольгу, применяемую в качестве обкладок в бумажных конденсаторах, или пластины конденсаторов переменной емкости.



Конструкция спирального
конденсатора:

а – в развернутом виде;

б – секция конденсатора с
намоткой со скрытыми
электродами;

в – сечение витка спирали;

1, 2 – гибкие диэлектрические
ленты;

3, 4 – электроды



Классификация проводниковых материалов

Материалы высокой проводимости (Al)

Свойства поверхности алюминия. Алюминий активно окисляется и покрывается тонкой пленкой оксида с большим электрическим сопротивлением.

Такая пленка предохраняет алюминий от коррозии, но создает большое переходное сопротивление в местах контакта алюминиевых проводов, что делает невозможным пайку алюминия обычными методами.

Поэтому для пайки алюминия применяют специальные пасты-припои или используют ультразвуковые паяльники.

Более толстый слой оксида, создает надежную электрическую изоляцию на сравнительно высокие напряжения. Его получают с помощью электрохимической обработки алюминия.

Оксидная изоляция прочна механически и нагревостойка; она может быть сравнительно тонкой (слой оксида толщиной 0,03 мм имеет пробивное напряжение порядка 100 В, а толщиной 0,04 мм – около 250 В).



Классификация проводниковых материалов

Материалы высокой проводимости (Al)

Из оксидированного алюминия изготавливают катушки без дополнительной межвитковой или междуслойной изоляции.

Недостатками оксидной изоляции проводов являются ее ограниченная гибкость и заметная гигроскопичность.

Наиболее широкое применение оксидная изоляция получила в электролитических конденсаторах; ее используют также в некоторых типах выпрямителей и разрядников.

На практике важное значение имеет вопрос защиты от гальванической коррозии в местах контакта алюминия и меди.

Если область контакта подвергается воздействию влаги, то возникает местная гальваническая пара с довольно высоким значением э. д. с., причем полярность этой пары такова, что на внешней поверхности контакта ток направлен от алюминия к меди, вследствие чего алюминиевый проводник может быть сильно разрушен коррозией.



Классификация проводниковых материалов

Материалы высокой проводимости (Al)

Пленки алюминия широко используют в интегральных микросхемах в качестве контактов и межсоединений.

Нанесение пленок на кремниевые пластинки обычно производят методом испарения и конденсации в вакууме.

Требуемый рисунок межсоединений создается с помощью фотолитографии.

Преимущества алюминия как контактного материала состоят в том, что этот материал легко конденсируется на подложку, обладает хорошей адгезией к кремнию и пленочной изоляции из SiO_2 , широко используемой в полупроводниковых интегральных схемах, обеспечивает хорошее разрешение при фотолитографии. Кроме того, алюминий образует хорошие омические контакты с кремнием.

Недостатком алюминия является его низкая механическая прочность. Отожженный алюминий в три раза менее прочен на разрыв, чем отожженная медь.

Другим недостатком алюминия является значительная подверженность электромиграции, что приводит к увеличению сопротивления или даже разрыву межсоединений.