**департамент образования и молодежной политики хмао-югры**

**бюджетное учреждение**

**профессионального образования хмао-югры**

**няганский ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ колледж**

**«Электроматериаловедение»**

**Краткий курс лекций**

для студентов ІІ-ІІІ курса

**направление подготовки**

13.02.11 Техническая эксплуатайия и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям)

**Общепрофессиональная дисциплина (ОП.12)**

Электроматериаловедение

АННОТАЦИЯ

Краткий курс лекций по общепрофессиональной дисциплине «Электроматериаловедение» составлен в соответствии с программой дисциплины и предназначен для студентов ІІ-ІІІ курса направления подготовки 13.02.11 «Техническая эксплуатайия и обслуживание электрическогои электромеханического оборудования (по отраслям)».

Курс лекций содержит краткие сведения о физических процессах, протекающих в диэлектриках, проводниках, полупроводниках и магнитных материалах, применяющихся в электротехнике. Рассмотрены области применения различных электротехнических материалов в энергетике, электромашиностроении и электроники.

**ТЕМА 1.**

**ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СТРОЕНИИ МАТЕРИАЛОВ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ**

**1.1. Общие сведения о строении материалов, их классификация.**

Электроматериаловедение - наука, изучающая состояние и свойства материалов и устанавливающие связи между их составом, строением и свойствами.

Типы атомных связей и их влияние на свойство материалов:

1. Ионная связь.

Присущая соединениям, образована разнородными атомами. Внешние электроны атомов одного элемента переходят на внешние орбиты атомов другого элемента, образуя устойчивые электронные конфигурации. Наиболее известный и широко распространенный с ионным типом связи является поваренная соль и стекло.

2. Ковалентная связь.

Устанавливается в результате образования устойчивых соединений путем обобщения определенных электронов. Ковалентная связь характерна для многих кристаллических твердых тел, например: алмаз. Механическая прочность ковалентной связи достаточно велика в следствии ее направленного характера. Ковалентные связи характерны для пластмасс.

3. Металлическая связь.

Атомы металлов имеют большое количество электронов, которые слабо связаны с ядром. При сближении атомов электроны, находящиеся на внешних оболочках теряют связь со своими атомами, и образуют "электронный газ".

Наличие электронного газа определяет свойство металла.

Высокое тепло и электропроводность, отсутствие сильных направленных связей определяет пластичность металла, т.е. способность изменять форму без разрушения. Поэтому металлы выдерживают ковку, прокат, волочение.

Силы Ван-дер-Ваальса.

Происхождение связано с тем, что атомы являются малыми диполями, распределение электронов в атоме симметрично относительно ядер, но центр отрицательных зарядов может не совпадать с ядром, имеющим положительный заряд, что и преобразует диполь.

Существуют кристаллические в-ва: аморфные и аморфнокристаллические.

Классификация электроматериалов:

1) По применению.

Материалы бывают электротехническими и конструкционными.

2) По структуре.

Различают монокристаллические (однородные тела по всему объему) и поликристаллические, которые состоят из множества мелких кристаллических зёрен, хаотически ориентированных в разных направлениях.

3) По Эл. Свойствам.

Различают: проводники, полупроводники и диэлектрики.

Проводники: R= 10-6 до 10-3 Ом\*см

Полупроводники: 10-3 до 104 Ом\*см

Диэлектрики: 106 до 1015 Ом\*см

Основные свойства твердых материалов:

Свойства материалов, исследуемых на специальных оборудованиях, на образцах особой определённой формы и размеров. Различают: механические, физические и электрические свойства.

К механическим свойствам относятся: твёрдость, упругость, вязкость, пластичность, линейное расширение, хрупкость, прочность, усталость.

Упругость

Свойство материалов восстанавливать свою форму и объём после действия внешних сил, которые вызывают их изменение.

Вязкость

Способность материалов оказывать сопротивление динамическим нагрузкам.

Ударная вязкость

Способность материала оказывать сопротивление ударным нагрузкам.

Усталость

Разрушение материала под действием не больших повторных или знакопеременных нагрузок (вибраций).

Физико-химические свойства.

Свет, плотность, температура плавления, теплопроводность, температурный коэффициент линейного расширения, коррозийная стойкость (способность материала противостоять разрушению структуры под действием внешних факторов и химических веществ).

Технологические свойства.

Ковкость, свариваемость, обрабатываемость резанием, усадка и др.

Материалы с высокой проводимостью.

К материалам этого типа предъявляются следующие требования:

Минимальное значение удельного электрического сопротивления и высокие механические свойства.

**ТЕМА 2. ПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

**2.1. Классификация проводниковых материалов. Основные свойства и характеристики.**

В качестве проводников электрического тока могут быть исполь зованы как твердые тела, так и жидкости, а при соответствующих условиях и газы. Важнейшими, практически применяемыми в электротехнике твердыми проводниковыми материалами, являются металлы и их сплавы.

К жидким проводникам относятся расплавленные металлы и различные электролиты. Однако для большинства металлов температура плавления высока, и только ртуть, имеющая температуру плавления около минус 39 °С, может быть использована в качестве жидкого металлического проводника при нормальной температуре. Другие металлы являются жидкими проводниками при повышенных температурах.

Газы и пары, в том числе и пары металлов, при низких напряженностях электрического поля не являются проводниками. Однако, если напряженность поля превзойдет некоторое критическое значение, обеспечивающее начало ударной и фотоионизации, то газ может

стать проводником с электронной и ионной электропроводностью. Сильно ионизированный газ при равенстве числа электронов числу положительных ионов в единице объема представляет собой особую проводящую среду, носящую название плазмы.

Важнейшими для электротехники свойствами проводниковых материалов являются их электро- и теплопроводность, а также способность генерации термоЭДС. Электропроводность характеризует способность вещества про водить электрический ток. Механизм прохождения тока в металлах обусловлен движением свободных электронов под воздействием электрического поля. Поэтому количественная оценка электропро-

водности описывается дифференциальной формой закона Ома:

j = γ ⋅ E ,

где j – плотность тока; γ – удельная проводимость материала; Е – напряженность электрического поля.

Величина ρ, обратная удельной проводимости γ, называется удельным сопротивлением, которое для проводника сопротивлением R, длиной L и поперечным сечением S вычисляется по формуле:

ρ = R ⋅ S

L

Все чистые металлы с наиболее правильной кристаллической решеткой характеризуются наименьшими значениями удельного сопротивления. Примеси, искажая решетку, приводят к увеличению ρ.

Теплопроводность – способность материалов передавать теплоту, что количественно описывается законом Фурье:

ω = χ ⋅Δθ,

где ω – плотность теплового потока; χ – удельная теплопроводность;

Δθ – разность температур на единичном участке длины материала.

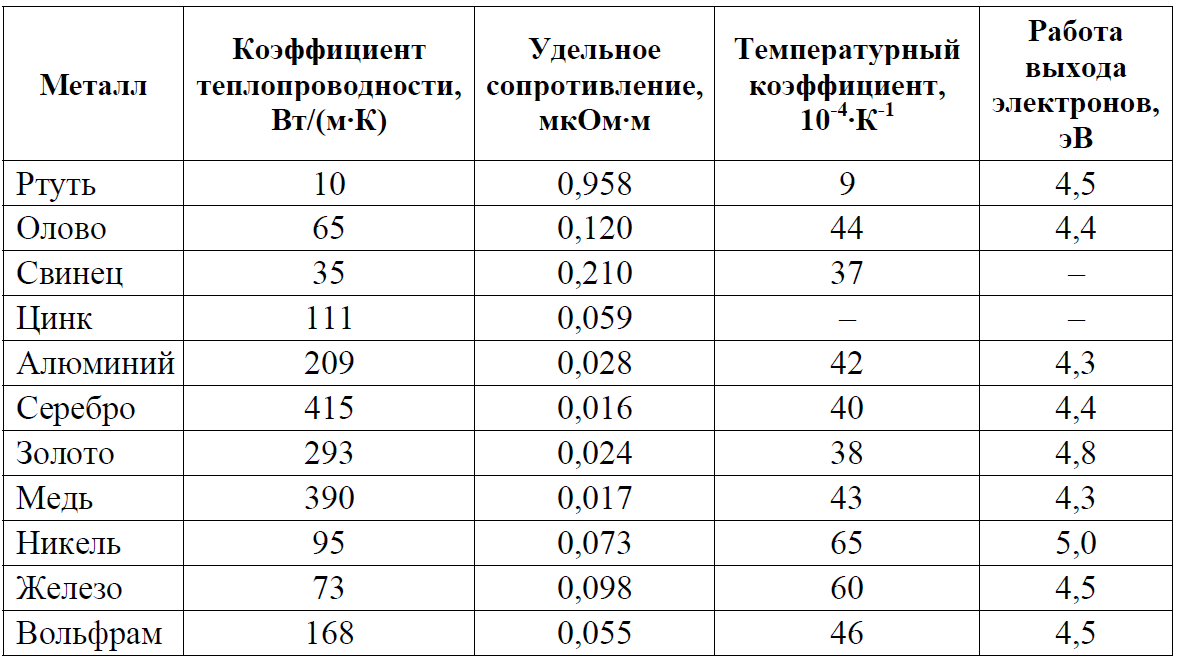
За передачу теплоты через металл в основном ответственны те же свободные электроны, которые определяют и электропроводность металлов и число которых в единице объема металла весьма велико. Поэтому, как правило, коэффициент теплопроводности металлов намного больше, чем диэлектриков. Очевидно, что чем больше удельная электрическая проводимость у металла, тем больше должен быть и его коэффициент теплопроводности. Чистота и характер механической обработки металла могут заметно влиять на его теплопроводность, в особенности при низких температурах.

Если вдоль разомкнутого проводника меняется градиент температуры, то на его концах появляется разность потенциалов термоЭДС. Это обусловлено тем, что вовлеченные в тепловой поток электроны переносят электрический заряд. ТермоЭДС возникает также и при соприкосновении двух различных металлических проводников. Причина появления этой разности потенциалов заключается в различии значений работы выхода электронов из различных металлов.

Основные электротехнические характеристики свойств некоторых проводников представлены в табл. 6.

Таблица 6

Характеристики свойств проводников при θ = 20 °С



Из металлических проводниковых материалов могут быть выделены металлы высокой проводимости, имеющие удельное сопротивление ρ при нормальной температуре не более 0,05 мкОм·м, и сплавы высокого сопротивления, имеющие ρ при нормальной температуре не менее 0,3 мкОм·м. Металлы высокой проводимости используются для изготовления контактов, проводов и кабелей, обмоток электрических машин и трансформаторов и т. п. Металлы и сплавы высокого сопротивления применяются для изготовления резисторов, электронагревательных приборов, нитей ламп накаливания и т. п. Особый интерес

представляют собой обладающие чрезвычайно малым удельным сопротивлением при весьма низких (криогенных) температурах материалы – сверхпроводники и криорпроводники.

К наиболее широко распространенным материалам высокой проводимости следует отнести медь и алюминий.

Чаще всего медь получают путем переработки сульфидных руд. После нескольких плавок руды и обжигов с интенсивным дутьем медь, предназначенная для электротехники, обязательно проходит процесс электролитической очистки. Полученные после электролиза катодные пластины меди переплавляют в болванки массой 80–90 кг,

которые прокатывают и протягивают в изделия требующегося поперечного сечения. При холодной протяжке получают твердую медь, которая имеет высокий предел прочности и используется для изготовления контактных проводов, шин распределительных устройств,

коллекторных пластин электрических машин. Если же медь подвергать отжигу с последующим охлаждением, то получают мягкую медь, которая пластична и имеет невысокую механическую прочность. Мягкую медь в виде проволоки в основном применяют в качестве токопроводящих жил кабелей и обмоточных проводов, т. е. там, где

важна гибкость и пластичность, а не прочность.

Вторым по значению (после меди) проводниковым материалом является алюминий. *Алюминий приблизительно в 3,5 раза легче меди.* Алюминий обладает пониженными по сравнению с медью свойствами – как механическими, так и электрическими. При одинаковых сечении и длине электрическое сопротивление алюминиевого провода больше, чем медного в 1,63 раза. Поэтому, если ограничены габариты, то замена меди алюминием затруднена. Прокатка, протяжка и отжиг алюминия аналогичны соответствующим операциям над медью.

Железо – наиболее дешевый и доступный металл. Однако его удельное сопротивление в 5 раз выше, чем у меди и алюминия. Сталь, представляющая собой железо с примесью углерода и других элементов, как проводниковый материал используется в виде шин, рельсов трамваев, электрических железных дорог и пр. Особо прочная стальная проволока применяется для сердечников сталеалюминиевых проводов воздушных линий электропередачи. Так, наиболее популярные провода для воздушных линий – сталеалюминиевые марки АС. Например, АС 95/16 означает, что в поперечном сечении 95 мм2 алюминия и 16 мм2 стали. Для изготовления резисторов и электронагревательных приборов используют сплавы высокого сопротивления: манганин, константан.

Манганин – сплав меди, марганца и никеля, характеризуется низким температурным коэффициентом сопротивления (α = 5·10-6 К-1) и применяется для изготовления резисторов.

Константан – сплав меди с никелем, по свойствам аналогичный манганину, но с более высокой нагревостойкостью. Применяется для изготовления реостатов и электронагревательных элементов. Для изготовления нагревательных элементов используют также сплавы наоснове железа: нихром (железо-никель-хром) и хромаль (железохром-алюминий).

**2.2. Материалы с высокой проводимостью и высоким сопротивлением**

В качестве материалов для этих проводников используются металлические сплавы. Они делятся на проводниковые резистивные, плёночные, материалы для термопара. Основные характеристики: удельное электрическое сопротивление (не менее 0,3 мОм на метр), температурный коэффициент ЭДС, зависимость сопротивления от температуры.

Манганин.

Пластичный сплав, состоящий из меди 85%, марганца 12% и никеля 3%. После изготовления спирали обжигают при температуре 6000С в течение 10 часов с медленным охлаждением.

Недостатки: окисляется, поэтому изолируется стеклом, но из-за этого имеет пониженную гибкость. Допускает прокатку до диаметра 0,2мм, применятся для изготовления высокоточных резисторов больших номиналов.

Константан.

Состав: медь около 60%. Никель до 40%, марганец 1,5%.

Основное положительное качество это постоянный коэффициент удельного сопротивления. Допустимая температура нагрева до 9000С для длительной работы 5000С. При контакте с медью образует высокую термо ЭДС и применяется для изготовления термопар.

Применение: для термостатов и гасящих резисторов. Широкого применения не находит из-за дороговизны никеля.

Нихром.

Нихром представляет собой твердый раствор никеля и хрома или тройные сплавы никель, хром и железо. Наличие железа делает сплав дешевле, улучшает обрабатываемость, но снижает нагревостойкость.

Применение: для изготовления резисторов, потенциометров, паяльников, печных нагревателей и плёночных резисторов в интегральных схемах.

Существуют хромоалюминиевые сплавы фехраль и хромаль. В отличие от нихрома они более хрупкие, поэтому из них изготавливают проволоку и ленту большого сечения. Применяют в нагревательных печах большой мощности. Эти сплавы значительно дешевле нихрома. Нихром варят электросваркой нержавеющими электродами.

Выводи из спирали должны изготавливаться из нержавеющей проволоки диаметром более 16мм.

Пленочные резистивные материалы.

Метало - плёночные материалы - это композиция из рения и вольфрама. В виде порошков наносится на изоляционные основания и защищает от внешних воздействий. Иногда применяется тантал, титан, хром, палладий и их сплавы.

Толщина плёнок от 1 до 10 мкм. Имеет высокое поверхностное сопротивление, низкий температурный коэффициент электросопротивления, мелко зернистую структуру, а при толщине пленки в несколько нанометров температурный коэффициент электросопротивления становится отрицательным.

Метало оксидные материалы.

Изготавливают резистивные плёнки, которые обладают высокой термостойкостью. Применяются материалы, изготовленные из двуокиси олова SnO2. Эта пленка обладает хорошей акдезией и высокой кислотостойкостью.

Композиционные резистивные материалы.

Представляют собой механические смеси мелко диспресных порошков металлов и их соединений с органической или не органической связкой. Например: оксиды серебра, палладия, карбиды кремния, вольфрам и др. Связки - термореактивные полимеры, порошкообразное стекло не органические эмали.

Предельная рабочая температура пленок 1500С. Композиции, которые подвергаются спеканию, имеют термостойкость до 3500С.

К недостаткам относятся: повышенный уровень собственных шумов, зависимость сопротивления от частоты и старения при длительной нагрузке.

Материалы для термопар.

Термопары применяются как чистые металлы, так и сплавы с высоким электрическим сопротивлением. Материалы для термопар выбирают по параметрам: допустимой рабочей температуры спая, удельный коэффициент электрического сопротивления, температурный коэффициент удельного электрического сопротивления, коэффициент термо ЭДС.

Сплавы для изготовления термопар: копель, 44% никеля, 56% меди.

Сплав хромель: 10% хрома, 90% никеля.

Платина - радий: 90% платины, 10% радия.

Сплав алюмель: 95% никеля, 5% алюминий + олово + радий.

Легкоплавкие материалы с большим удельным сопротивлением.

Галлий - метал, который плавится при температуре 29,70С. Применение: в полупроводниковой технике в качестве лидирующей добавки для германия.

Сплавы индия и галлия имеют температуру плавления ниже комнатной. Применяются в качестве жидких проводниковых материалов. Используются для жидких контактов и для герметизации корпусов микросхем.

**2.3.Проводниковые материалы и сплавы различного применения.**

Проводниковые материалы и сплавы различного применения используются в качестве специальных проводниковых материалов с особыми свойствами, например магнитными, или материалов, обладающих высокой тугоплавкостью или химической стойкостью.

**Благородные металлы**

Группу благородных металлов (серебро, платина, палладий, зо­лото) составляют металлы, обладающие наибольшей химической стойкостью к условиям окружающей среды и действию агрессив­ных сред (кислот, щелочей).

**Серебро Ag.** Серебро – белый блестящий металл со следующими свойствами:

- самый электропроводный металл (удельное электрическое сопро­тивление при нормальной температуре ρ = 0,016 мкОм·м);

- имеет высокие механические свойства (предел прочности при ра­стяжении σр = 200 МПа, относительное удлинение при разрыве ∆l/l примерно 50%), что позволяет промышленно изготавливать про­водники различного диаметра, включая микропровода диаметром 20 мкм и менее;

- при вжигании или напылении образует прочные покрытия на диэлектриках;

- при повышенных температурах и влажности атомы серебра миг­рируют по поверхности и внутрь диэлектрика, вызывая нарушение работы устройства;

- химическая стойкость ниже, чем у других благородных металлов;

- образует окислы с высокой электропроводностью;

- образует пленки сернистых соединений Ag2S с повышенным удельным сопротивлением, что требует защиты серебряных покрытий лака­ми или тонким слоем более стойкого металла, например палладия;

- остродефицитный материал.

Серебро применяется в широкой номенклатуре контактов в ап­паратуре разных мощностей. Высокие значения удельных теплоем­кости, теплопроводности и электрической проводимости серебра обес­печивают по сравнению с другими металлами наименьший нагрев кон­тактов и быстрый отвод теплоты от контактных точек. Серебро применяют также для непосредственного нанесения на диэлектрики, в качестве электродов, в производстве керамических и слюдяных конденсаторов. Для этого применяют метод вжигания или испарения в вакууме. Серебром покрывают внутренние поверхности волноводов для получе­ния слоя высокой проводимости. С этой же целью серебрению подвер­гают проводники высокочастотных катушек. Ag входит в состав при­поев.

**Платина Pt**. Платина – светло-серый металл со следующими свой­ствами:

- не соединяется с кислородом;

- наиболее химически стойкий (устойчив к большинству кислот);

- имеет высокую пластичность (предел прочности при растяже­нии после отжига σp примерно 150 МПа, относительное удлинение при разрыве ∆l/l 30...32%);

- легко поддается механической обработке;

- образует спаи с легкоплавкими стеклами благодаря близости коэффициентов линейного расширения;

- редко применяется по причине высокой стоимости.

Платину используют как материал для сеток в мощных генера­торных лампах, при изготовления термопар в паре с платинородием для измерения высоких температур (до 1600°С), для особо тон­ких нитей (диаметром примерно 1 мкм) в подвижных системах элек­трометров. Платина входит в состав проводящих паст, вжигая ко­торые на монолитные керамические конденсаторы, получают элек­троды.

Вследствие малой твердости платина редко используется для кон­тактов в чистом виде, но служит основой для некоторых контактных сплавов. Наиболее распространенными являются сплавы платины с иридием; они не окисляются, имеют высокую твердость, малый меха­нический износ, допускают большую частоту включений, однако доро­ги и применяются в тех случаях, когда необходимо обеспечить высокую надежность контактов.

**Палладий Pd.** Палладий – белый пластичный металл, по многим свойствам близкий к платине, в ряде случаев служит его замените­лем, так как дешевле ее в 4–5 раз. Использование палладия в электровакуумной технике обусловлено его способностью интенсив­но поглощать водород. Последний в отличие от других газов диффун­дирует в палладий при сравнительно низких температурах (150–300°С) и избыточном давлении 0,015–0,1 МПа, а затем вновь выделяется в чистом виде при нагревании палладия в вакууме до температур 350–500°С. Твердый палладий поглощает более чем 850-кратный объем водорода по отношению к собственному объему. Выделенным из палла­дия чистым водородом наполняют некоторые типы газоразрядных при­боров.

Благодаря высокой проницаемости для водорода его приме­няют в электровакуумной технике для очистки водорода.

**Золото Аu. Золото** – металл желтого цвета со следующими свой­ствами:

- имеет высокую пластичность (относительное удлинение при раз­рыве ∆l/l 40%), что позволяет получать фольгу толщиной 0,08 мкм и менее (это в 250 раз тоньше человеческого волоса);

- коррозионную стойкость к образованию сернистых пленок при комнатной температуре и при нагревании;

- химическую стойкость.

Золото в чистом виде и в виде сплавов с платиной, серебром, ни­келем, цирконием, имеющими повышенную твердость, хорошую эро­зионную и коррозионную стойкость, применяют для изготовления прецизионных контактов, малогабаритных реле, электродов фото­элементов, для вакуумного напыления тонких пленок полупровод­никовых и гибридно-пленочных интегральных схем, золочения кон­тактных поверхностей электронных ламп СВЧ, корпусов микросхем.

Тонкие пленки золота применяются в качестве полупрозрачных электродов в фоторезисторах и полупроводниковых фотоэлементах, а также в качестве межсоединений и контактных площадок в пленочных микросхемах. В последнем случае из-за плохой адгезии к диэлект­рическим подложкам пленки золота наносят обычно с адгезионным под­слоем (чаще всего хрома). В контактах золота с алюминием происходит постепенное образование ряда интерметаллических соединений, обла­дающих повышенным удельным сопротивлением и хрупкостью. Поэто­му контакты тонких пленок золота и алюминия ненадежны.

**Тугоплавкие металлы**

К тугоплавким относят металлы с температурой плавления бо­лее 1700°С. Эти металлы, как правило, химически устойчивы при низких температурах, но при повышенных температурах активно взаимодействуют с атмосферой. Поэтому изделия из них эксплуа­тируют в вакууме или среде инертных газов (аргон Аr, азот N2 и др.). Механическая обработка тугоплавких металлов затруднена из-за их повышенной твердости и хрупкости.

Тугоплавкие металлы (вольфрам W, рений Re, молибден Мо, тантал Та, титан Ti, ниобий Nb, цирконий Zr) применяют в электровакуумной технике, полупроводниковом производстве и микроэлектронике, для подвижных контактов и в качестве материала для сверхпроводников.

**Ртуть Hg**

Ртуть – единственный чистый металл, который при нормальной температуре находится в жидком состоянии. Он обладает следую­щими свойствами:

- легко испаряется даже при комнатной температуре, и пары ее очень вредны;

- применение паров ртути в газоразрядных приборах обусловле­но более низким потенциалом ионизации по сравнению с обычны­ми и инертными газами;

- чистая ртуть и ее соединения относятся к ядовитым веществам;

- в ртути хорошо растворяются щелочные и редкоземельные ме­таллы (магний, алюминий, цинк, олово, свинец, кадмий, платина, серебро, золото);

- слабо растворяются в ртути медь и никель;

- не растворяются в ртути железо и титан.

Получают ртуть металлургическим способом, подвергая ее мно­гократной очистке. Завершающей операцией является вакуумная перегонка при температуре примерно 200 °С.

Применяют ртуть в лампах дневного света, для ртутных контак­тов в реле, в качестве жидкого катода в ртутных выпрямителях, в ртутных лампах.

**2.4. Неметаллические проводники. Материалы для подвижных контактов. Припои. Металлокерамика.**

**Неметаллические проводники.**

Неметаллические проводники, например, углеродистые материалы, широко используются в электротехнике. Из угля изготавливают электроды для прожекторов, аноды гальванических элементов, щетки электрических машин, высокоомные резисторы, разрядники для телефонных сетей, а угольные порошки используют в микрофонах и в производстве непроволочных резисторов. Щетки делают из графита, кокса, сажи, в качестве связки выступают каменноугольная и синтетические смолы. для повышения электропроводности в щетках часто используют порошкообразные металлы, медь с добавками свинца, олова и серебра. Углеродистые материалы, кроме сажи и графита, предварительно прокаливают для удаления летучих компонентов; после смешивания с металлическим порошком и связкой прессуют заготовки и затем вырезают щетки. Для прочности щетки спекают в неокислительной атмосфере при температуре около 1300 °С. Некоторые виды щеток подвергают графитизации при 2500 - 3000 0С в неокислительной атмосфере, для перевода кокса и сажи в графит и удаления примесей. Заключительной операцией является пропитка щеток смолой или носком для повышения влагостойкости и снижения коэффициента трения. Повышение механической прочности щеток и увеличение электропроводности достигается за счет пропитки щеток расплавленными металлами.

Основные технические параметры щеток: удельное сопротивление, допустимая плотность тока, допустимая линейная скорость. Иногда учитывают также падение напряжения на щетках и удельное давление.

В настоящее время различают щетки угольно-графитовые (УГ), графитные (Г), электрографитированные (ЭГ) и медно-графитовые (М и МГ) с содержанием порошка меди, приведенные в таблице 2.

Таблица 2 - Параметры электрических щеток

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип щетки | Уд.сопр., мкОм м | Доп.плот.тока, мА/м | Доп.лин. ск.,м/с |
| Г | 10 - 46 | 7 - 11 | 12 – 25 |
| УГ | 18 - 60 | 6 - 8 | 10 – 15 |
| ЭГ | 10 - 45 | 9 - 11 | 25 – 45 |
| М | От 0,05 | 12 - 20 | 12 – 25 |
| МГ | До 1,2 | 12 - 20 | 12 - 25 |

**Материалы для подвижных контактов**

Все контактные материалы при работе подвергаются износу (раз­рушению). Принято различать механический, химический и элект­рический износы.

Механический износ связан с истиранием и деформированием материалов контактирующих поверхностей вследствие приложения определенной силы при ударе контактов и последующего контакт­ного нажатия. Он зависит от свойств материала и конструкции кон­тактного устройства.

Химический износ (коррозия) обусловлен химическим взаимодействием контактных материалов с окружающей средой, т. е. с появлением на их поверхности оксидных, сульфидных, карбонатных и других плёнок с плохой электропроводностью.

Электрический износ (электрическая эрозия или обгорание) наблюдается только в разрывных и частично скользящих контактах. Это связано с полярностью контактов и сводится к испарению и переносу из-за воздействия электрической дуги в случае разрыва контакта частиц контактного материала. В результате на одной контактной поверхности образуются наросты, а на другой - углубле­ния (кратеры). При переносе металла с анода на катод между ними могут возникать иглы, которые препятствуют размыканию контакта и нарушают его работу. При относительно больших плотностях тока может произойти сваривание контактных поверхностей. Особо ос­тро эрозия проявляется в цепях постоянного тока.

К контактным материалам предъявляются следующие требова­ния:

низкое переходное электрическое сопротивление (сопротивление в месте соприкосновения контактных поверхностей);

стойкость к износу;

постоянство переходного сопротивления в процессе работы.

Наиболее ответственными контактами, применяемыми в элект­ротехнике, являются контакты, служащие для периодического за­мыкания и размыкания электрических цепей (скользящие и размыкающие).

**Припои**

Припой состоит большей частью из олова с добавлением различных материалов. В структуру припоя могут входить следующие компоненты:

Олово (Sn) – представляет собой мягкий металл с температурой плавления + 231,9 С градусов. Олово растворяется в соляной и серной кислоте. Большая часть органических кислот на него не действуют. При воздействии комнатных температур олово не подвергается окислению, однако при ее снижении ниже +18 С и особенно ниже -50 С происходит разрушение кристаллической решетки металла, в результате чего олово приобретает серый оттенок.

Свинец (Pb) – очень популярный металл в изготовлении припоя за счет легкоплавкости. В чистом виде металл очень мягкий, легко обрабатываемый. У свинца окисляется только верхняя часть, контактируемая с воздухом. Металл легко растворяется в щелочи и кислотах, содержащих азот и органику.

Кадмий (Cd) – применяется для изготовления легкоплавких припоев в малых дозах совместно с оловом, висмутом или свинцом. В чистом виде – токсичен, температура его плавления + 321 С. Зачастую кадмий применяется в антикоррозийных целях.

Висмут (Bi) – один из самых легкоплавких металлов при использовании его в составе припоя с температурой плавления + 271 С. Висмут хорошо растворим в азотной кислоте, а так же в подогретом растворе серной кислоты.

Сурьма (Sb) – тугоплавкий металл с температурой плавления + 630,5 С. Не подвержен воздействию воздуха. Не окисляется. В припое дает эффект глянца. Металл токсичен.

Цинк (Zn) – хрупкий металл синевато-серого цвета с температурой плавления + 419 С. Быстро окисляется на воздухе. Используется в припоях аппаратуры, работающей во влажных условиях, за счет того, что покрывает под воздействием влаги пленкой окиси, защищающей места пайки. Цинк легко растворим в кислотах. Цинк вместе с медью применяется для твердых припоев, а так же кислотных флюсов.

Медь (Cu) – металл с самой высокой температурой плавления в изготовлении припоя + 1083 С. Не поддается воздействию воздуха, однако верхним слоем окисляется при попадании влаги. Медь применяется в тугоплавких припоях.

Припои разделяют на легкоплавкие и тугоплавкие.

Легкоплавкие припои нашли широкое применение при конструировании радиоаппаратуры и пайке радиоэлектронных компонентов, а так же при лужении дорожек радиомонтажных плат. Температура плавления легкоплавких припоев не выше + 450 С. В основу таких припоев обычно входит олово, свинец, кадмий, висмут или цинк. В радиоэлектронике большое применение получили припои с температурой плавления до + 145 С градусов. В процессе лужения обезжиренных и очищенных плат применяется сплав Розе или сплав Вуда. Температура плавления этих сплавов 70 – 95 градусов, поэтому они равномерно залуживают плату, опущенную в кипящую воду.

**Металлокерамика**

Металлокерамика — искусственный материал, представляющий собой гетерогенную композицию металлов или сплавов с неметаллами (керамикой).

Другие названия: керметы, керамико-металлические материалы, спеченные антифрикционные материалы, твёрдые сплавы.

Металлокерамики объединяют важные конструкционные и эксплуатационные свойства металлов и неметаллов. Они отличаются большой прочностью, высокими износо- и теплостойкостью, антикоррозионными свойствами. Применяются в качестве антифрикционных или защитных покрытий деталей и самостоятельных конструкционных материалов в авиастроении, автомобилестроении, транспортном и химическом машиностроении, электроприборостроении, трубостроении и других отраслях промышленности.

В стоматологии металлокерамикой называют несъемные зубные протезы (мостовидные протезы, коронки), представляющие собой металлический каркас с нанесенной на него керамической массой. В данной ситуации о композиции как таковой речи не идет, есть каркас из металла и керамическая масса, удерживающаяся на нем за счет макро- и микроретенции. Таким образом, понятие металлокерамики в стоматологии отличается от такого понятия в технике и материаловедении.

**ТЕМА 3.ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

**3.1. Простые полупроводники**

Простыми называются полупроводники, основной состав которых образован атомами одного химического элемента (германий, кремний, селен, теллур).

В полупроводниках свободных электронов немного. Это объясняется тем, что валентные электроны связаны со своими атомами и принимают участие в образовании ковалентных связей в кристаллической решетке с другими атомами. Ток в полупроводниках может возникнуть и изменяться в широких пределах только под влиянием внешних воздействий: нагревания, облучения, давления или при введении некоторых примесей.

Германий и кремний – элементы четвертой группы периодической системы Менделеева. Исходными сырьевыми материалами для получения германия служат цинковые и сульфидные руды. Слиток германия получают в результате сложных химических процессов. Затем слиток методом зонной плавки освобождают от примесей, расплавляют в вакууме и вытягивают с определенной скоростью чистый монокристалл в виде сплошного цилиндра заданного диаметра.

Германий имеет ярко-серебристый цвет, его температура плавления 937 оС. Все сорта германия обладают большой твердостью, хрупкостью и легко увлажняются. Германий широко применяется для производства диодов и фотоэлементов.

Исходным материалом для производства кремния служит кремнезем, который широко распространен в природе. Технология получения кремния подобна получению германия. Образцы полированного кремния имеют цвет стали. Температура его плавления 1420 оС. Кремний, как и германий,- хрупкий материал. Верхний предел рабочих температур полупроводниковых приборов на основе кремния 150-200оС, а на основе германия - 70-80оС, в связи с этим кремний применяют более широко в производстве микросхем.

Структура сложных полупроводников образована атомами различных химических элементов. Наиболее широкое применение нашли неорганические кристаллические полупроводники, к примеру, карбид кремния – двойное соединение элементов 4 группы Периодической системы Менделеева углерода и кремния. Исходными материалами для его получения является кварцевый песок и кокс. Для получения полупроводников с электропроводностью n-типа (донорная проводимость, возникающая за счет электронов) карбид кремния легируют фосфором, сурьмой или висмутом, ᴛ.ᴇ. элементами пятой группы. Такие материалы имеют темно-зеленую окраску. Кристаллы карбида кремния с дырочной проводимостью р-типа выращивают при легировании элементами 2 группы (бор, алюминий, галлий, индий) и 3 группы (кальций, магний).

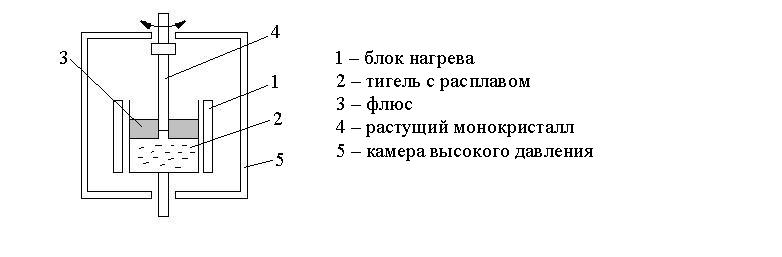
Чистый карбид кремния бесцветен, его температура плавления 2700оС. Карбид кремния обладает высокой химической стойкостью. Важнейшим и широко используемым свойством карбида кремния является его способность к люминесценции в видимой части спектра. Карбид кремния благодаря высокой твердости используют для механической обработки различных материалов. В основном наиболее чистые сорта карбида применяют в производстве варисторов (нелинейных сопротивлений, используемых в устройствах автоматического регулирования), светодиодов, выпрямительных и туннельных диодов, транзисторов. Эти полупроводниковые приборы сохраняют работоспособность при температуре до 700оС, в связи с этим их применяют для контроля высокотемпературных процессов в доменных печах, реактивных турбинах и др.

**3.2. Полупроводниковые соединения**

*Получение соединений AIIIBV.*

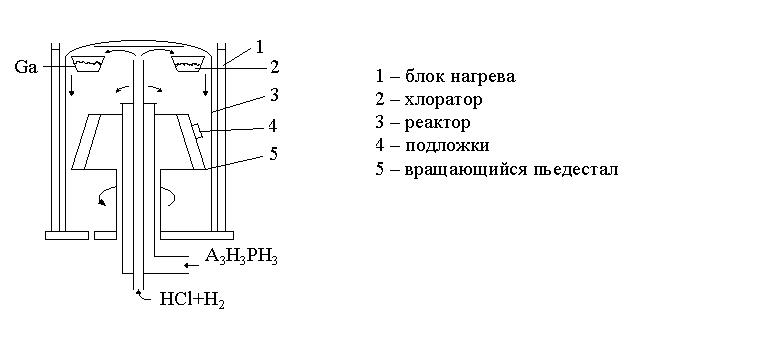
В промышленности соединения AIIIBV получают в виде монокристаллов или эпитаксильных слоев. При изготовлении монокристаллов используется прямой или косвенный синтез. Синтез – химическая реакция, в ходе которой из исходных веществ образуется полупроводниковое химическое соединение. При прямом синтезе исходные вещества являются компонентами синтезируемого соединения. При косвенном – хотя бы одно из исходных веществ является химическим соединением. В результате синтеза получают конечный продукт – крупные объемные кристаллы.Монокристаллы выращивают горизонтальной зонной плавкой или вытягиванием из расплава по методу Чохральского.  
  
  
Рисунок 1. Схема метода Бриджмена

На рисунке 1 схема установки для выращивания монокристаллов горизонтальной направленной кристаллизацией (метод Бриджмена)

^ Рисунок 2. Схема метода Чохральского

На рисунке 2 схема установки выращивания монокристалла вытягиванием из расплава из-под флюса (метод Чохральского).

Номинальный диаметр начиная с 25мм через 5мм.Интенсивное развитие микроэлектроники стимулировало широкое использование эпитаксильных методов в технологии полупроводников AIIIBV. Их достоинства:— невысокие рабочие температуры выращивания эпитаксильных слоев— простота управления их роста— возможность получения многослойных структур с управляемой геометрией и свойствами. Эпитаксия в газовой фазе основана на газотранспортных процессах, когда компоненты ситезируемого материала добавляются к подложке в потоке газа-носителя в форме легколетучих соединений. На рисунке 3 схема установки для эпитаксии полупроводников AIIIBV в газовой фазе.

 Рисунок 3. Установка для эпитаксии полупроводников

Твердый раствор синтезируется в открытой системе. Галлий переносится в зону осаждения в виде субхлорада, образующегося при пропускании над ним паров HCl. Сюда же поступают фосфор и мышьяк, источниками которых являются фосфин (PH3) и арсин (AsH3). В зоне осаждения идет реакция

**ТЕМА 4 ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**

**4.1. Твердые диэлектрики. Жидкие диэлектрики.**

Твёрдые сплавы - это материалы, состоящие из зёрен карбидов или карбонитридов тугоплавких металлов, соединённых металлической связкой.

Режущая керамика состоит только из твёрдых химических соединений. Основной метод изготовления изделий из этого материала - это порошковая металлургия. Основными средствами порошковой металлургии является получение порошков, приготовление смесей, формирование смесей и спекание. Основной компонент - карбид вольфрама. Металлургический вольфрам получают в две стадии: сначала разлагается вольфрамовая кислота и образуется оксид вольфрама, который затем восстанавливается в водородной среде.

Оксид алюминия Al2O3 основа многих видов керамики и получается из бокситов и глинозёма. Наиболее распространённый метод приготовления смеси это размол в шаровых мельницах. Во время размола смесь перемешивается, а тонкость помола определяется временем измельчения и доходит до пяти суток.

Наиболее распространённой технологией порошковой металлургии является прессование в пресс формах. Давление прессования 500-600 МПа. При прессовании качество зависит от равномерности и плотности смеси по объёму. Порошки имеют маленькую пластичность, и это усложняет прессование. При прессовании крупных изделий, эти изделия прессуют с двух сторон и дополнительно в состав вводят пластификаторы (каучук, парафин и т.д.)

Спекание - это заключительная операция, при которой пористое порошковое вещество превращается в малопористое или безпористое. Нормальной считается пористость 0,5%.

Твёрдые сплавы.

Высокая твёрдость, теплостойкость до 11000С, скорость резания до 300 м/мин

ВК - вольфрамокобальтовые сплавы

ТК - титано вольфрамокобальтовые сплавы

ТТК - титано-тантало - вольфрамокобальтовые сплавы

ТН, КНТ - безвольфрамовые сплавы

Сплавы первой группы обладают наибольшей прочностью, теплостойкостью около 9000С.

Режущая керамика.

Широко используется как конструкционный материал и имеют особые химические,

фрикционные и теплофизические свойства. В отличие от твёрдых сплавов керамика не содержит металлической связки, теплостойкость до 14000С, скорость резания до 600 м/мин. Основной недостаток керамики - хрупкость.

Применение инструментальных материалов.

Выбор инструментального и любого другого материала определяется его основными и технологическими свойствами, условиями обработки и областью применения. Не меньшее значение имеет конструкция изделия.

Область инструментальных сталей определяется их отличием от других материалов и возможностью изменения свойств за счет термообработки. После отжига эти материалы сами легко обрабатываются, а после упрочнения они приобретают способность к резанию.

Образивы предназначены для шлифования и полирования самых различных материалов. Они могут быть порошком, кругами, брусками, шлифовальной шкуркой, в которой порошки соединены связкой.

Электрокарунд получают плавкой из боксита или глинозема. Применение: для изготовления кругов на органические связки, микропорошков и т.д. Допускают обработку практически любых материалов

Цветные металлы и сплавы.

Медь обладает высокой пластичностью, высокой тепло и электропроводностью. Плотность меди 8,9 г/см3.

Медь широко применяется в электротехнической промышленности и используется как полуфабрикат при выплавке стали.

Марки меди:

М0 - 99,95% меди

М1 - 99,9% меди

М2 - 99,7% меди

М3 - 99,5% меди

М4 - 99,00% меди

Практически все примеси ухудшают электропроводность меди. Чистая медь из-за низкой прочности в машиностроении широко не применяется. В основном применяются сплавы с цинком, оловом, алюминием, кремнием и т.д.

Сплавы меди с цинком называются латунями, сплавы меди с оловом - свинцом, с кремнием и алюминием и другими материалами называют бронзы.

Алюминий относится к легким металлам, хорошо сопротивляется коррозии. Кремний и железо в его составе повышает прочность, но снижает пластичность. Алюминий марок Al 00, Al 0 применяется для изготовления фольги и покрытий в электропромышленности. Алюминий других марок как конструкционный материал.

Дюралюминий - это сплав алюминия, меди и марганца. Маркируется "Д". Допускает термообработку и естественное старение. Поставляется в виде профилей, прутков, листов и т.д.

**4.2. Газообразные диэлектрики. Активные диэлектрики.**

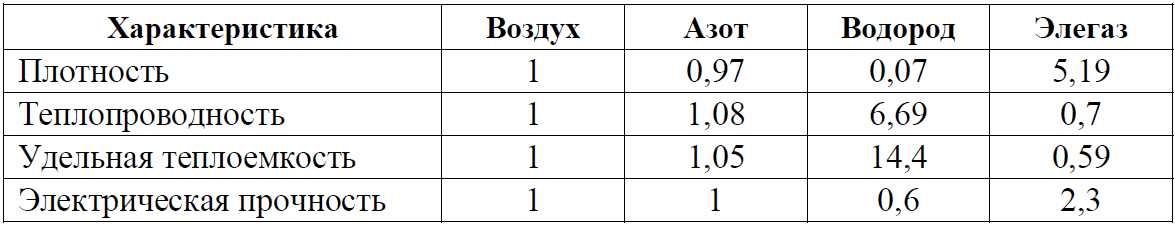
Основными газообразными диэлектриками, применяющимися

в электротехнике, являются: воздух, азот, водород и элегаз (гексафторид серы SF6 ).

По сравнению с твердыми и жидкими диэлектриками, газы обладают малыми значениями диэлектрической проницаемости и tgδ , высоким удельным сопротивлением и пониженной электрической прочностью. Свойства газов по отношению к свойствам воздуха (в относи тельных единицах) приведены в табл. 5.

Таблица 5

Свойства газов по отношению к свойствам воздуха



Воздух используется в качестве естественной изоляции между токоведущими частями электрических машин и линий электропередач. Недостатком воздуха является его окислительная способность из-за наличия кислорода и низкая электрическая прочность в неоднородных полях. Поэтому в герметизированных устройствах воздух используется редко.

Азот применяется в качестве изоляции в конденсаторах, высоковольтных кабелях и силовых трансформаторах. Водород имеет пониженную электрическую прочность по срав нению с азотом и применяется в основном для охлаждения электрических машин. Замена воздуха водородом приводит к значительному улучшению охлаждения, так как удельная теплопроводность водорода значительно выше, чем у воздуха. Кроме того, при применении водорода снижаются потери мощности на трение о газ и вентиляцию.

Поэтому водородное охлаждение позволяет повысить как мощность, так и КПД электрической машины. Наибольшее распространение в герметизированных установках

получил элегаз. Он применяется в газонаполненных кабелях, делителях напряжения, конденсаторах, трансформаторах и высоковольтных выключателях. Преимуществами кабеля, заполненного элегазом, является малая электрическая емкость, то есть пониженные потери, хорошее охлаждение, сравнительно простая конструкция. Такой кабель представляет собой стальную трубу, заполненную элегазом, в которой при помощи

электроизоляционных распорок укреплена проводящая жила. Заполнение элегазом трансформаторов делает их взрывобезопасными. Элегаз используется в высоковольтных выключателях – элегазовых выключателях, так как обладает высокими дугогасящими свойствами.

**ТЕМА 5 МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

**5.1. Магнитные материалы**

Плотность 1,7 г/см3, температура плавления 6510С, прочности и пластичность маленькие, легко окисляется, склонен к самовоспламенению. Широко используются славы с алюминием, цинком, марганцем и титаном. Алюминий и цинк повышают механические свойства, марганец повышает коррозионную стойкость, титан измельчает зерно. Широко применяется в авиационной и космической технике. Сплавы изготавливают деформированные и литейные, допускают термообработку.

Баббиты - это легкоплавкие подшипниковые сплавы, применяемые для вкладышей подшипников скольжения.

Металлический вкладыш должен обладать малым коэффициентом трения, достаточной износостойкостью и хорошей прирабатываемостью. Второе и третье требование друг другу противоречат. Что бы их совместить в металле должны быть твердая и мягкая фазы. В начале работы мягкая фаза быстрее изнашивается и образуются пустоты в которых удерживается смазка. Для изготовления баббитов используются сплавы свинец - сурьма и олово - сурьма. Иногда применяется легирование медью и другими элементами.

Титан.

Металл серебристо - белого цвета, плотность 4,5 г/см3, температура плавления 16680С. Свойства титана очень сильно зависят от его чистоты. Азот и кислород повышают прочность, но сильно снижают пластичность. Углерод и водород, вредные примеси обладают высокой коррозионной стойкостью даже в морской воде, хорошо свариваются, допускают термическую обработку.

Благородные металлы.

В группу благородных металлов входят: серебро, платина, палладий, золото. Это металлы которые обладают наибольшей химической стойкостью к окружающей среде и действию агрессивных сред.

Серебро.

Белый блестящий металл, плотность 10,49г/см3, самый электропроводный металл, удельное электрическое сопротивление 0,016 мкОм\*м, температура плавления 960,80С. Имеет высокие механические свойства, относительное удлинение при разрыве 50%. Это позволяет изготавливать проводники диаметром менее 20 микрон, хорошо держится на диэлектриках, но при повышенной температуре и влажности атомы серебра мигрируют внутрь диэлектрика и нарушается изоляция.

Используются в виде конденсаторов, как в чистом виде, так и в сплавах и для слаботочных контактов. Широко применяются в БЧ и СВЧ устройствах, печатных платах, входят в состав тугоплавких серебряных прибоях. В спец. смесях с графитом применяется для изготовления электрощетков, тахогенираторов.

Платина.

Светло-серый металл, плотность 21,4 г/см3, температура плавления 17730С, удельное электрическое сопротивление 0,105 Ом. Не соединяется с кислородом, химически очень устойчив, имеет высокую пластичность, образует спаи с легкоплавкими стеклами, т.к коэффициент линейного расширения практически одинаковый. Из-за высокой стоимости применяются только в технически-обоснованных случаях. Например: для изготовления сеток в мощных лампах для генератора, для изготовления термопар, при температуре 16000С. Из платины изготавливаются электронити диаметром в 1 микрон.

Золото.

Металл желтого цвета, имеет высокую пластичность, позволяет прокатывать в фольгу толщиной 0,08 микрон. Имеет высокую коррозионную и химическую стойкость, применяется в чистом виде и в виде сплавов с платиной, серебром, никелем и цирконием.

Применяется для изготовления прецизионных контактов, малогабаритных реле, электродов фото элементов, в пленочной технике, золочение контактов и т.д.

Палладий.

Белый пластичный металл по свойствам ближе к платине, иногда ее заменяет. Высокий предел прочности на растяжение. Из него изготавливают электроды для керамических конденсаторов. Широко применяется в элекро вакуумной технике для очистки водорода от примесей, т.к обладает высокой проницаемостью для водорода.

Тугоплавкие металлы.

К этой группе относятся металлы с температурой плавления более 17000С. Как правило, химически устойчивы и имеют повышенную твердость и хрупкость. Применяются в электровакуумной технике, в полупроводниковом производстве, в микроэлектронике, для подвижных контактов и сверхпроводников.

Молибден - близкий по свойству к вольфраму, металл в 2 раза легче, достаточно низкое удельное сопротивление, до 5000С. не окисляется.