По функциональным признакам группы:

- **основные** (проводники, полупроводники, диэлектрики, магнитные материалы);
- **технологические** (используемые в технологических процессах): реактивы, подложки, защитные покрытия (SiO_2, SiN, Al_2O_3), металлы, сплавы, припои;
- **конструкционные** (входящие в полупроводниковые изделия): металлы, сплавы, стекла, керамика, клеи, пластмассы для корпусов, токопроводящие материалы, защитные (лаки, эмали);
- **вспомогательные** (газы для создания защитной атмосферы, чистая вода, материалы для приспособлений).

Большинство материалов РЭС и ЭТ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ - материалы, характеризуемые определенными свойствами по отношению к электромагнитному полю и применяемые в технике с учетом этих свойств

- По поведению в электрическом поле:

✔ ПРОВОДНИКОВЫЕ
✔ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ
✔ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ

- По поведению в магнитном поле:

✔ ДИАМАГНЕТИКИ,
✔ ПАРАМАГНЕТИКИ,
✔ ФЕРРОМАГНЕТИКИ,
✔ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКИ,
✔ ФЕРРИМАГНЕТИКИ.

по поведению в электрическом поле

Проводниковые материалы - основным электрическим свойством является сильно выраженная электропроводность.

Диэлектрические материалы - низкая электропроводность, способность к поляризации и возможность существования в них электрического поля.

Полупроводниковые материалы - промежуточные значения электропроводности по отношению к проводникам и диэлектрикам.

Основные характеристики (параметры) материалов в электрическом поле

<u>Удельная электропроводность</u> σ (Ом/м) – коэффициент пропорциональности между плотностью тока ***j*** (А/м^2) и напряженностью электрического поля ***E*** (В/м) в законе Ома

$$j = \sigma \cdot E$$

- Удельная электропроводность зависит только от свойств материала.
- Для оценки электропроводности материала широко используется удельное электрическое сопротивление ρ=1/σ (Ом · м).

Проводниковые материалы

имеют свободные носителей электрического заряда и, как следствие, обладают высокой электропроводностью удельное электрическое сопротивление $\rho<10^{-5}$ Ом · м,

Проводники первого рода электронный характер электропроводности. :

- Металлы
- Сплавы
- Углерод
- Композиции на их основе

Проводники второго рода - ионный характер электропроводности, используются в некоторых компонентах:

- Гальванические элементы
- Аккумуляторы
- Электролитические конденсаторы
- Ионисторы
- Применяются в электрохимических технологи ческих процессах.

Различают также материалы высокой проводимости, служащие для соединения между собой элементов электрических цепей, и материалы высокого удельного сопротивления, предназначенные для создания резистивных элементов электрических цепей.

Проводниковые материалы

Металлы

- с высокой удельной проводимостью: Cu, Al
- благородные: Au, Ag, Pt
- тугоплавкие: W, Mo, Cr, Re
- со средним значением температуры плавления: Fe, Ni, Co и др.

Сплавы металлов

- сплавы высокого сопротивления: манганин 86%Cu, 12% Mn, 2% Ni; константан 60% Cr, 40% Ni и др.
- сверхпроводящие сплавы Nb3Sn, Nb3Ga
- припои мягкие (ПОС-10, ПОС-90 олово, свинец) и твердые (ПМЦ медно-цинковые, ПСр - серебряные)

Неметаллические материалы

- углеродистые материалы. Графит.
- Композиционные проводящие материалы. Контатолы и керметы.
- Проводящие материалы на основе оксидов. Тонкие пленки оксидов олова и индия

Проводниковые материалы

В электронной технике в основном используют проводниковые свойства металлов, металлических сплавов, графита (модификация углерода).

- Основным материалом высокой проводимости является медь

(Cu, ρ= 0,017 мкОм · м).

- Второй по значимости материал высокой проводимости – алюминий

(Al, ρ= 0,028 мкОм · м).

- Серебро (Ag) – металл с наиболее высокой электропроводностью из всех проводниковых материалов (ρ= 0,015 мкОм · м)
- Наибольшее удельное сопротивление имеет сплавы Fe–Cr–Co–Al:

ρ≈ 10 мкОм · м.

- Графит - кристаллическая форма ρ= 0,42 мкОм · м, угольный сварочный электрод - ρ= 50-90 мкОм·м

Общие свойства проводниковых материалов

Основное свойство - электропроводность, оцениваемая параметром:

УДЕЛЬНОЕ (ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ) СОПРОТИВЛЕНИЕ ρ, Ом · м : $\rho = RS/l$.

УДЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ: $\sigma = 1/\rho$

Величина удельного сопротивления зависит от внутренних и внешних факторов:

- **температура проводника** - с повышением температуры удельное сопротивление растет, при T≈ 0 К металлы проявляют сверхпроводящие свойства;
- **состав проводника** – наличие примесей, легирующих добавок - например, 0,1 % P или 0,2 % Fe снижают электропроводность меди в 2 раза;
- **предшествовавшая обработка** – отжиг, закалка, растяжение, сжатие - при растягивающих нагрузках удельное сопротивление возрастает, при сжимающих – уменьшается;
- **градиент (перепад) температуры по длине проводника** – образование термо-ЭДС из-за переноса электрического заряда «тепловыми» электронами;
- **типа контакта в цепи** – возникновение контактной разности потенциала при контакте разнородных проводников;
- **толщины проводника** – наличие поверхностного эффекта в проводниках на переменном токе – в проводнике плотность тока уменьшается от поверхности к центру, а значит возрастают потери энергии.

Общие свойства проводниковых материалов: влияние температуры проводника

Зависимость– функция нелинейная, но в сравнительно узком температурном диапазоне, в большинстве практических случаев ее можно линеаризовать:

$$\rho(T) = \rho(T_0)\,[1 + \alpha_л\,(T - T_0)],$$

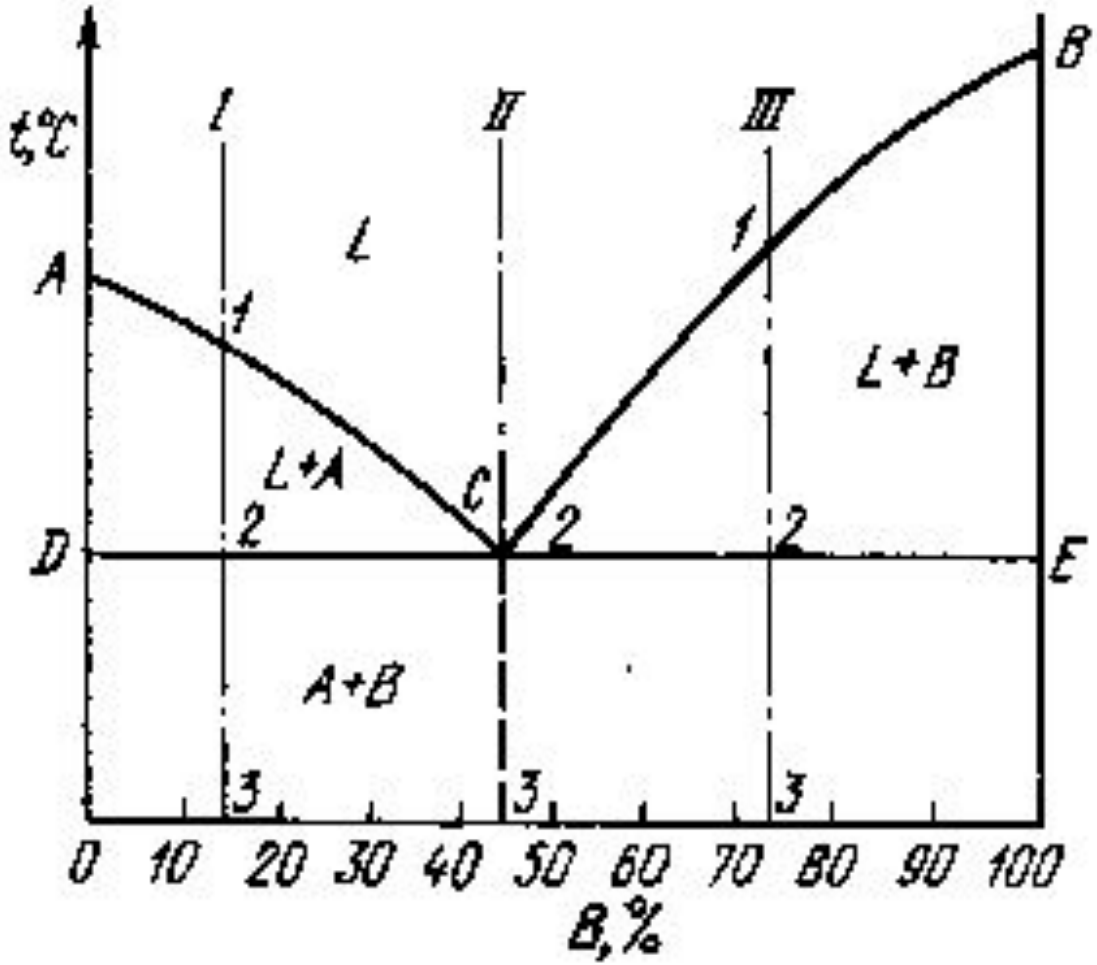
где $\rho(T_0)$, $\rho(T)$ – удельные сопротивления при температурах T_0 и T соответственно, $\alpha_л$ – температурный коэффициент (удельного) сопротивления, ТКС, $К^{-1}$ или $^oС^{-1}$.

Величина ТКС у разных проводников различна:

- у большинства чистых металлов $\alpha_л \sim 4 \cdot 10^{-3}$ $К^{-1}$;
- у сплавов изменяется в широких пределах: от $1 \cdot 10^{-6}$ $К^{-1}$ (сплав ЗлМ) до $1{,}8 \cdot 10^{-3}$ $К^{-1}$ (ПлН4,5).
- у меди $\alpha_л = 4{,}3 \cdot 10^{-3}$ $К^{-1}$,
- у алюминия $\alpha_л = 4{,}1 \cdot 10^{-3}$ $К^{-1}$.

Это означает, что сопротивление медного проводника возрастает на 10 % с ростом его температуры на 23 $^oС$ и удваивается при повышении температуры на 230 $^oС$.

Диаграммы состояния сплавов



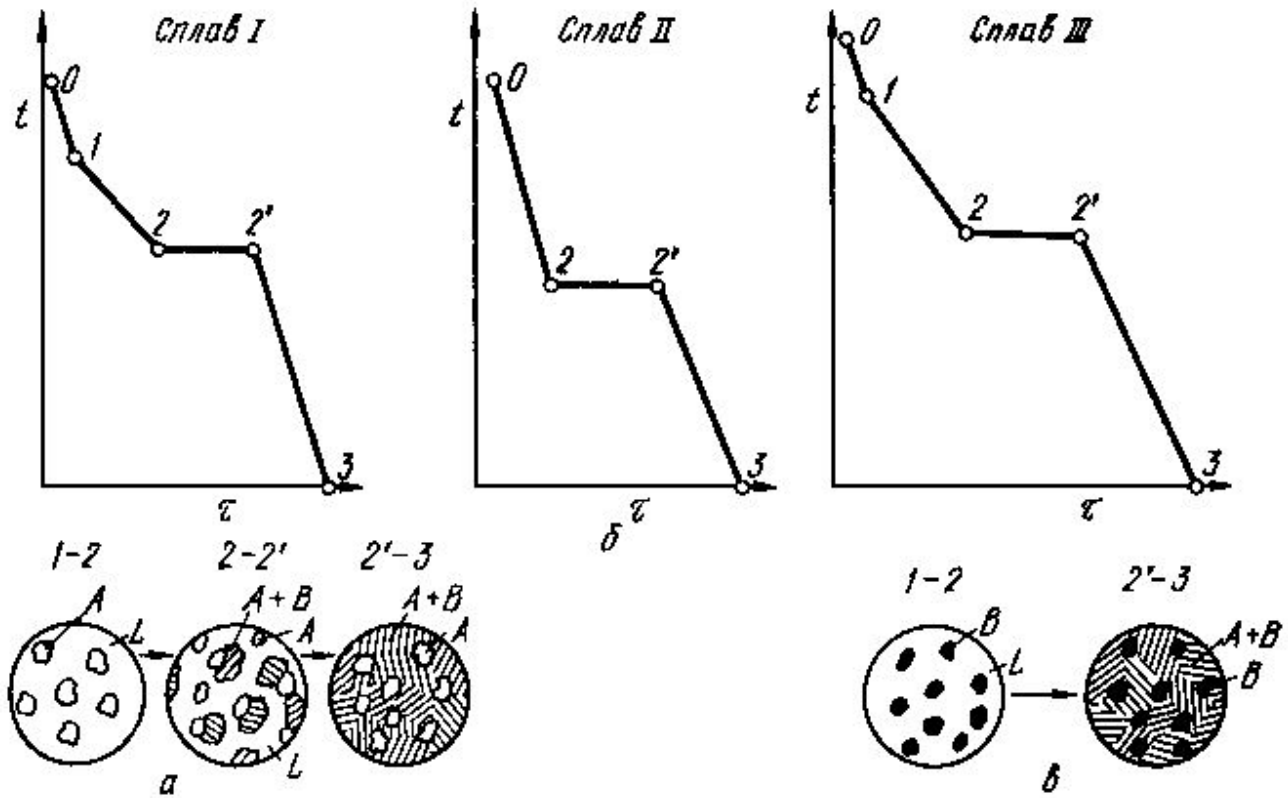
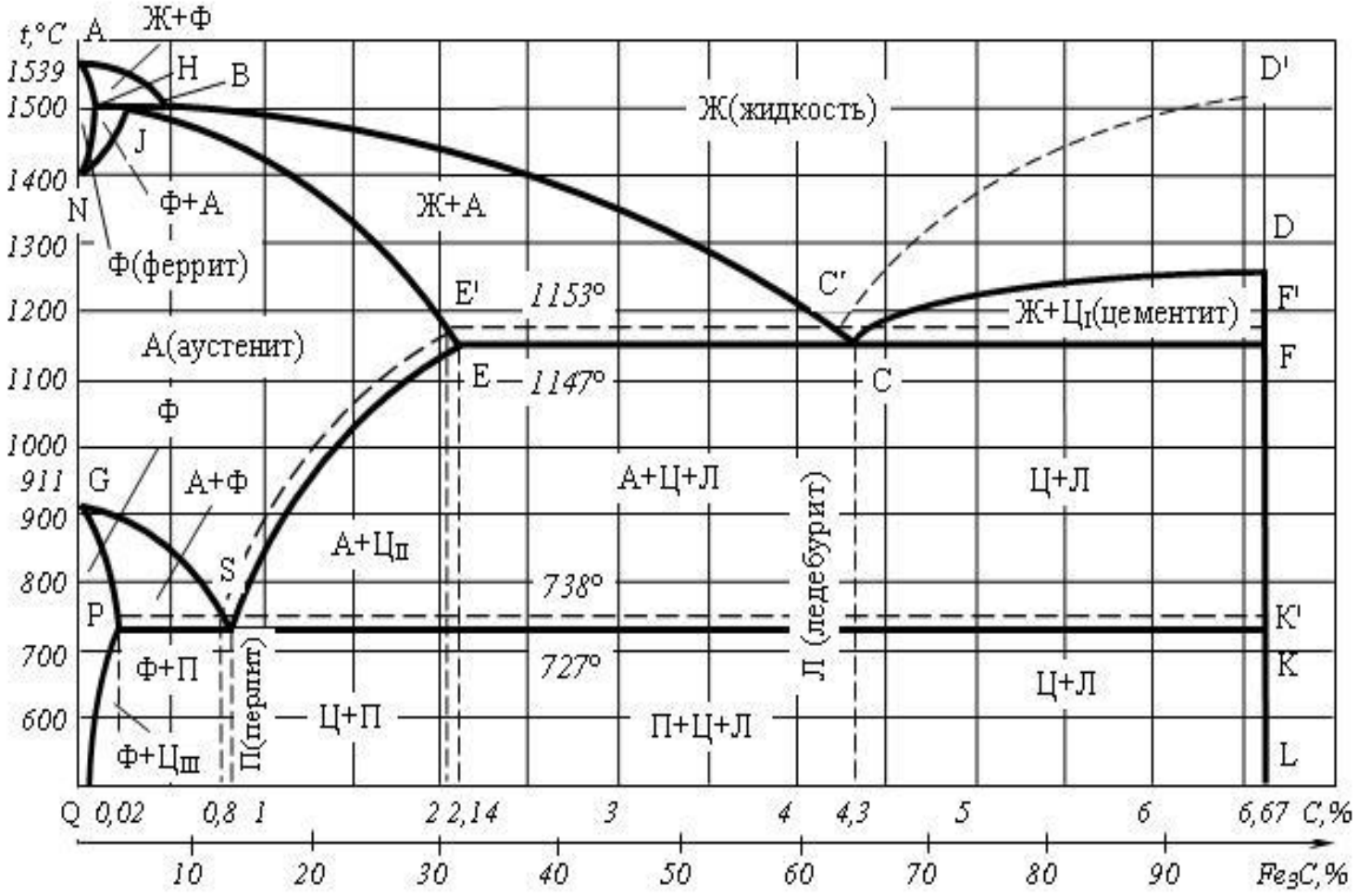


Диаграмма состояния железо – углерод



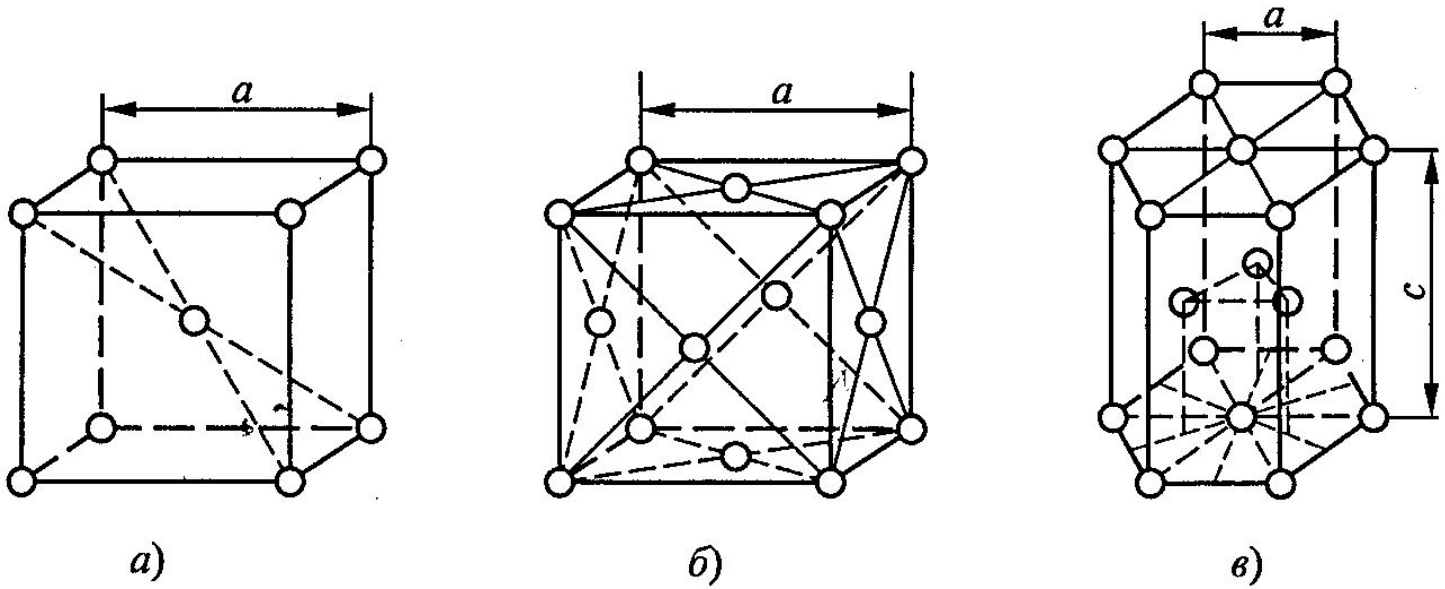
- Ф - феррит - свойства близки к свойствам чистого Fe – о.ц.к., растворяет углерод в небольших количествах, магнитен, при 768°С теряет магнетизм, выше 768°С – точка Кюри - парамагнетик.
- А – аустенит - немагнитен, твёрже феррита, достаточно пластичен.
- Ц – цементит - при низких температурах магнитен, обладает высокой твердостью, метастабилен.
- П – перлит – продукт распада аустенита, смесь феррита и цементита, магнитен.
- Ледебурит – эвтектическая смесь аустенита и цементита – твердый и хрупкий, немагнитен.

Стали и сплавы

Металлическим сплавом называются однофазные или многофазные микроскопически однородные смеси различных металлов.

- Фазы, образующиеся при сплавлении двух или нескольких металлов, представляют собой либо **твердые растворы**, либо **интерметаллические соединения** (интерметаллиды).
- При образовании твердого раствора сохраняется кристаллическая решетка металла растворителя.
- Многие металлы, имеющие одинаковые типы кристаллической решетки, смешиваются друг с другом в любых пропорциях, образуя непрерывный ряд твердых растворов. Однако есть металлы, которые ограниченно растворяются друг в друге или вообще не растворяются в твердой фазе.

Основные типы кристаллических решеток металлов



К, Na, Li, Ta, W, Mo, Fe_a, Cr, Nb и др.

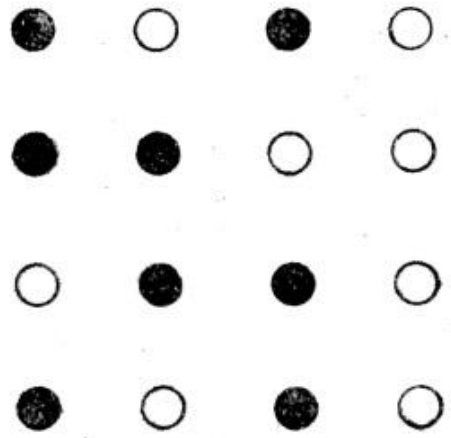
Ca, Pb, Ni, Ag, Au, Pt, Fe_γ и др.

Ru, Cd, Mg, Zn и др.

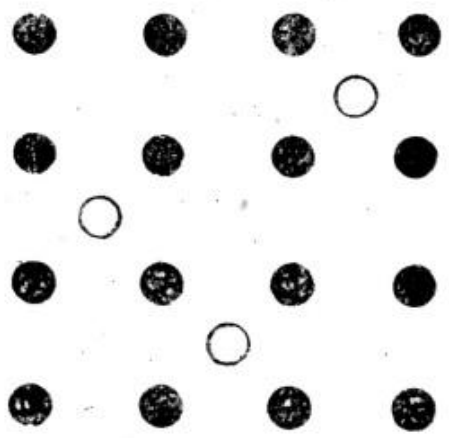
Параметр (а) кубических решеток колеблется в пределах 0,286-0,607 нм.
Параметры гексагональной решетки находятся в пределах: а = 0,228-0,398 нм и с = 0,357-0,652 нм.
В каждом кубическом сантиметре объема кристаллического тела содержится примерно 10^{22} атомов.

Существуют три типа структурных твердых растворов:

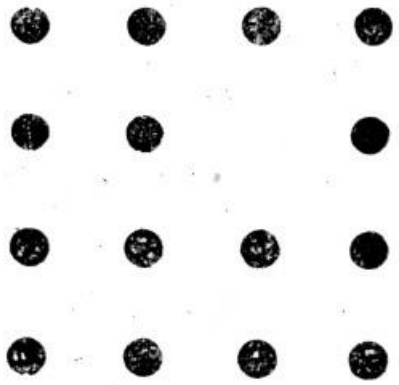
- ***растворы замещения***, когда атомы растворенного металла замещают в узлах кристаллической решетки атомы металла-растворителя, распределяясь среди них по определенному закону;
- ***растворы внедрения,*** когда атомы растворенного металла не замещают атомы металла растворителя, а располагаются в межатомных промежутках его кристаллической решетки;
- ***твердые растворы вычитания,*** которые образуются при недостатке одного из компонентов сплава.



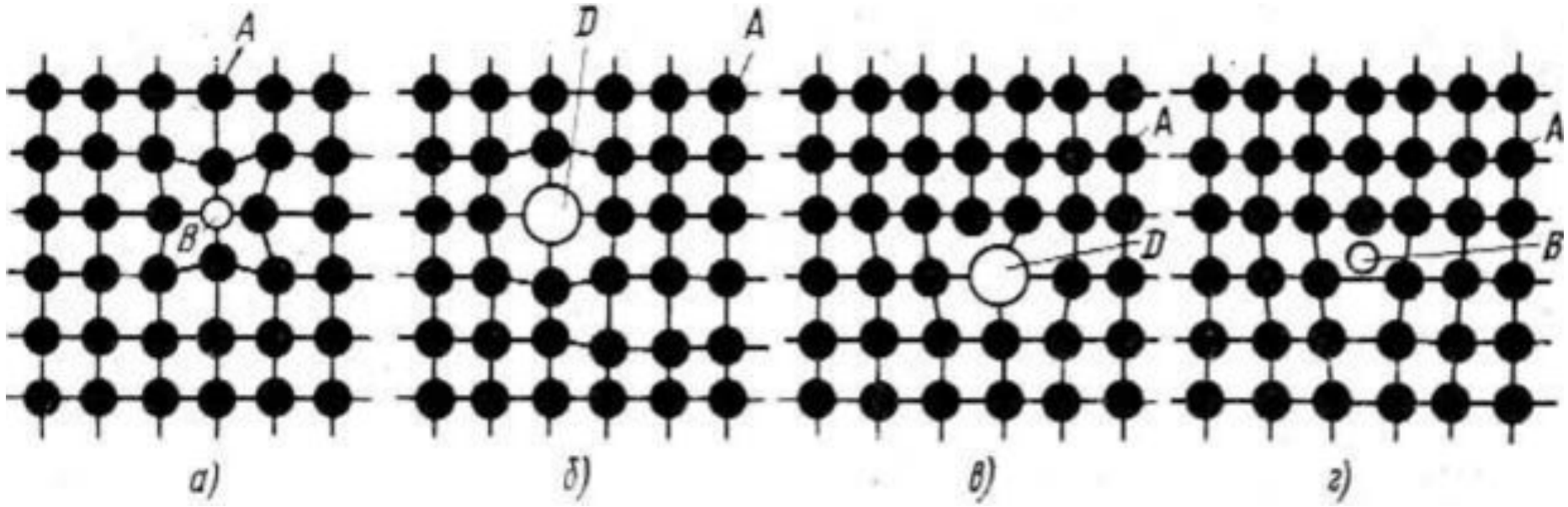
Растворы замещения



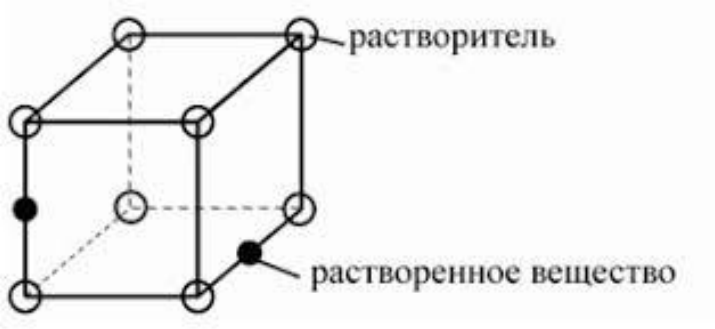
Растворы внедрения

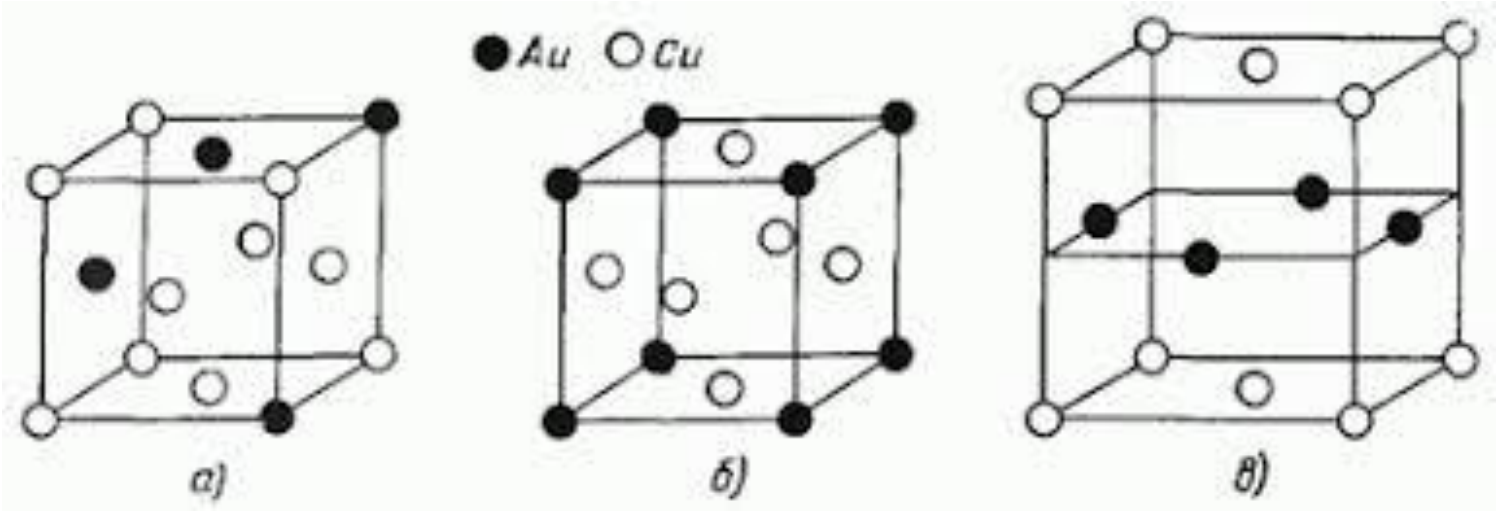


Растворы вычитания


A
B
D
A
A
D
A
B
а)
б)
в)
г)

Твердые растворы - однофазная структура с кристаллической решеткой, образованной атомами компонентов, входящих в состав сплава. Компонент, кристаллическая решетка которого сохраняется, называется **растворителем**; компонент, который не сохраняет свою кристаллическую решетку, а отдает свои атомы в решетку растворителя, - **растворимым**.





Кристаллическая решетка сплава меди с золотом

а- не регулярное строение

б – регулярное строение, состав $AuCu_3$

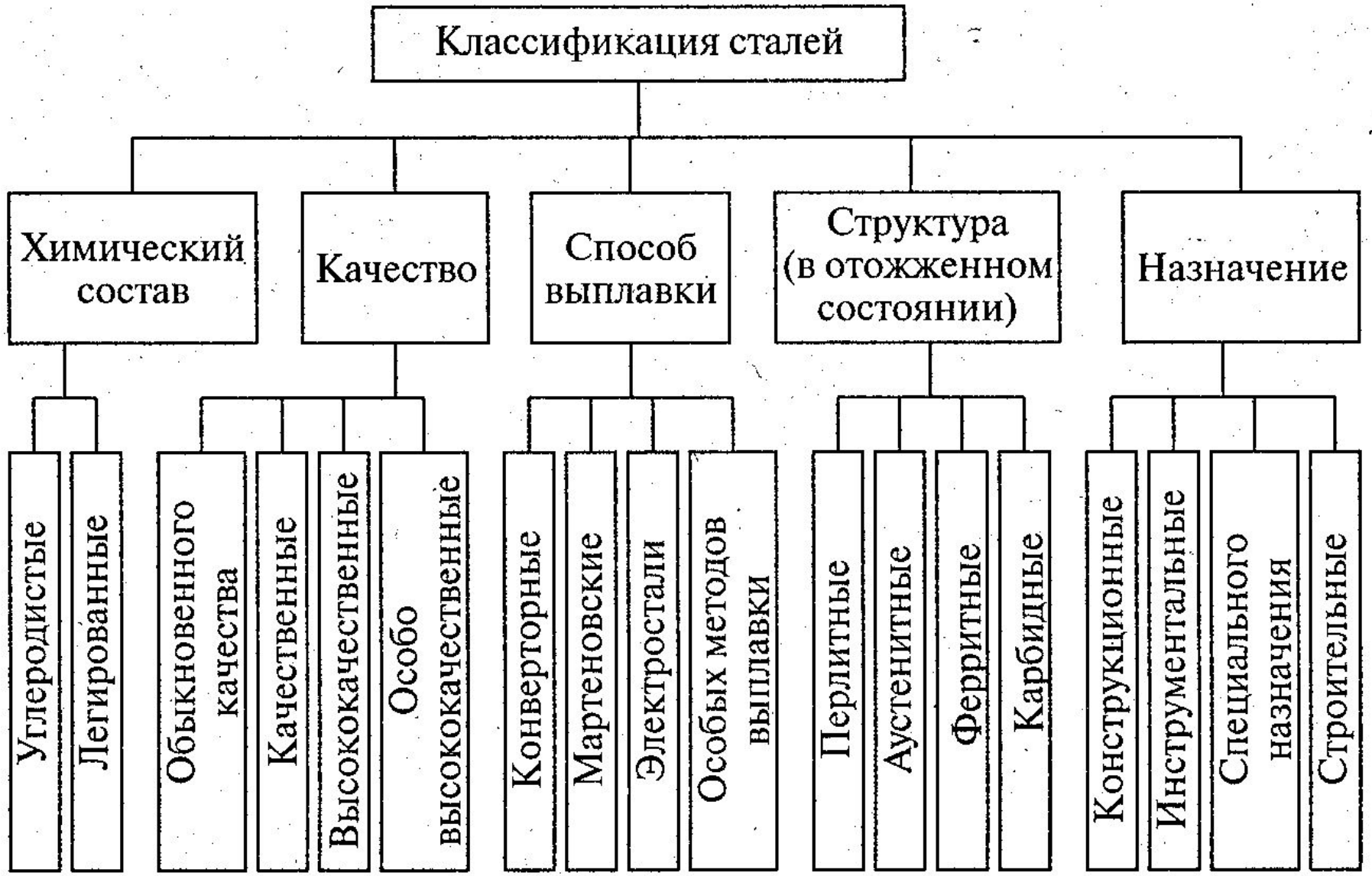
в – регулярное строение, состав AuCu

Интерметаллиды

- В противоположность твердым растворам интерметаллиды имеют кристаллическую структуру, отличную от структур исходных металлов. Состав интерметаллических соединений не всегда подчиняется правилам валентности, но эти соединения имеют ярко выраженную индивидуальность свойств.
- Два металла могут образовывать между собой не одно, а несколько соединений, например, $NaSn_3$, $NaSn_2$, NaSn, Na_4Sn_3, Na_2Sn, Na_4Sn и др., существующие лишь в определенных пределах состава и температуры.
- Электронное строение интерметаллических соединений имеет характерные свойства металлического состояния.

СТАЛИ

- **Сталь** – сплав железа (Fe>90%) с углеродом (C до 2,14%). Стали широко применяются в машиностроении, строительстве.
- Помимо железа и углерода в сталях и чугунах всегда присутствует кремний (Si), марганец (Mn), сера (S), фосфор (P) и газы – кислород, азот, водород (O,N,H). Эти **примеси** называют постоянными.
- Кроме постоянных примесей в сталях и чугунах случайным образом могут содержаться и другие элементы, которые называют **случайными примесями** (из руды, лома).
- Иногда в железоуглеродистые сплавы для изменения их структуры и свойств специально вводят химические элементы – хром (Cr), никель (Ni), молибден (Mo), вольфрам (W), титан (Ti). Такие примеси называют **легирующими**, а соответствующие сплавы – легированными.


Классификация сталей
Химический состав
Качество
Способ выплавки
Структура (в отожженном состоянии)
Назначение
Углеродистые
Легированные
Обыкновенного качества
Качественные
Высококачественные
Особо высококачественные
Конверторные
Мартеновские
Электростали
Особых методов выплавки
Перлитные
Аустенитные
Ферритные
Карбидные
Конструкционные
Инструментальные
Специального назначения
Строительные

Под **качеством** здесь понимается совокупность свойств стали, определяемых металлургическим процессом ее производства.

Раскисление – процесс удаления кислорода из жидкой стали. Нераскисленная сталь обладает недостаточной пластичностью и подвержена разрушению при горячей обработке давлением.

Стали по структуре классифицируют в состоянии после отжига и нормализации. В отожженном (равновесном) состоянии стали:
Эвтектоидные (перлитные), структура состоит из перлита
Карбидные: *завтектоидные,* в структуре имеются вторичные карбиды, выделяющиеся из аустенита и *ледебуритные,* в структуре содержатся первичные (эвтектические) карбиды
Аустенитные
Ферритные
Иногда выделяют еще и **доэвтектоидные**, которые имеют в структуре избыточный цементит

По химическому составу

- **Углеродистая** – сталь, у которой свойства зависят, в основном, от содержания углерода.

Такие стали в свою очередь подразделяют на:

Низкоуглеродистые – C<0,25%

Среднеуглеродистые – 0,25%<C<0,6%

Высокоуглеродистые – C>0,6%

- **Легированная** – сталь, в состав которой входят специально введенные элементы для придания ей требуемых свойств. (хром, никель, кобальт, молибден, титан, вольфрам и др.).

По общему процентному содержанию легирующих элементов легированные стали разделяют на:

низколегированные – 5-10%

среднелегированные – 10%

высоколегированные – более 10%

По назначению

- **Конструкционные** стали предназначены для изготовления деталей машин, приборов и элементов строительных конструкций.
- **Инструментальные** стали используют для изготовления режущего, измерительного инструмента, штампов для холодного и горячего деформирования.
- **Стали специального назначения** – нержавеющие (коррозионно-стойкие), жаростойкие, жаропрочные, износостойкие и др.

Маркировка сталей

- Легирующие элементы обозначаются буквами: Н (никель), К (кобальт), Г (марганец), Х (хром), В (вольфрам), М (молибден), Ю (алюминий), С (кремний), Ф (ванадий), Р (бор). Буквы пишутся после цифры, указывающей содержание углерода. Если после буквы нет цифры, то содержание легирующего элемента в стали 1-1,5%. Исключение сделано для молибдена и ванадия, содержание которых в большинстве сталей 0,2-0,3%.
  Если легирующего элемента в стали больше 1,5%, то цифра после буквы указывают его содержание в процентах. Например, марка 15Х обозначает сталь, имеющую в среднем 0,15%С и 1-1,5%Cr, сталь 35Г2 - 0,35%С и 2% Mn.
- Отличие в обозначении качественных сталей от высококачественных заключается в том, что в конце марки высококачественной стали приписывается буква А.

К примеру, сталь 40ХНМ - качественная, а сталь 40ХНМА - высококачественная. Если сталь особо высококачественная, то в конце марки пишется буква Ш.

- У сталей, применяемых в виде литья (в отливке), в конце марки ставится буква Л.
- Шарикоподшипниковые хромистые стали обозначаются в начале буквами ШХ, содержание хрома в этих сталях указывается в десятых долях процента, а содержание углерода, одинаковое при различном содержании хрома, не указывается. Например, сталь ШХ15 содержит в среднем 1% С и 1,5% Cr.
- Быстрорежущие стали обозначают буквой Р (режущие). Следующая за буквой цифра указывает содержание главного для этих сталей легирующего элемента - вольфрама.
  Пример: Р6М5К4 - быстрорежущая сталь с содержанием вольфрама 6%, молибдена 5%, кобальта 4%.
- Электротехнические стали (трансформаторные) обозначаются буквой Э. Следующая за буквой цифра указывает содержание легирующего элемента - кремния - в процентах.

содержание углерода
в сотых долях процента:
0,33–0,40% C

содержание никеля больше одного процента –
указывается в целых процентах:
3,0–3,5% Ni

сталь 38ХН3МФ

содержание хрома
около одного процента
или меньше –
цифра не ставится:
1,2–1,5% Cr

содержание молибдена
меньше одного процента –
цифра не ставится:
0,35–0,45% Mo

содержание ванадия
меньше одного процента –
цифра не ставится:
0,1–0,18% V