

## По функциональным признакам группы:

- **основные** (проводники, полупроводники, диэлектрики, магнитные материалы);
- **технологические** (используемые в технологических процессах): реактивы, подложки, защитные покрытия ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiN}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), металлы, сплавы, припой;
- **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

Удельная электропроводность  $\sigma$  (Ом/м) – коэффициент

пропорциональности между плотностью тока  $j$  (А/м<sup>2</sup>) 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  $\rho = 1/\sigma$  (Ом · м).

# Проводниковые материалы

имеют свободные носители электрического заряда и, как следствие, обладают высокой электропроводностью удельное электрическое сопротивление

$$\rho < 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

## 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 технологических 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 Nb<sub>3</sub>Sn, Nb<sub>3</sub>Ga
- припои мягкие (ПОС-10, ПОС-90 олово, свинец) и твердые (ПМЦ медно-цинковые, ПСр - серебряные)

## Неметаллические материалы

- углеродистые материалы. Графит.
- Композиционные проводящие материалы. Контактные материалы 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,  $\rho = 0,017 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$ ).
- Второй по значимости материал высокой проводимости – алюминий (Al,  $\rho = 0,028 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$ ).
- Серебро (Ag) – металл с наиболее высокой электропроводностью из всех проводниковых материалов ( $\rho = 0,015 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$ ).
- Наибольшее удельное сопротивление имеют сплавы Fe–Cr–Co–Al:  $\rho \approx 10 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$ .
- Графит - кристаллическая форма  $\rho = 0,42 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$ , угольный сварочный электрод -  $\rho = 50-90 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$

# Общие свойства проводниковых материалов

Основное свойство - электропроводность, оцениваемая параметром:

**УДЕЛЬНОЕ (ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ) СОПРОТИВЛЕНИЕ  $\rho$ , 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  $T \approx 0$  К металлы проявляют сверхпроводящие свойства;
- **состав проводника** – наличие примесей, легирующих добавок - например, 0,1 % Р 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:

$$\rho(T) = \rho(T_0) [1 + \alpha_{\rho} (T - T_0)],$$

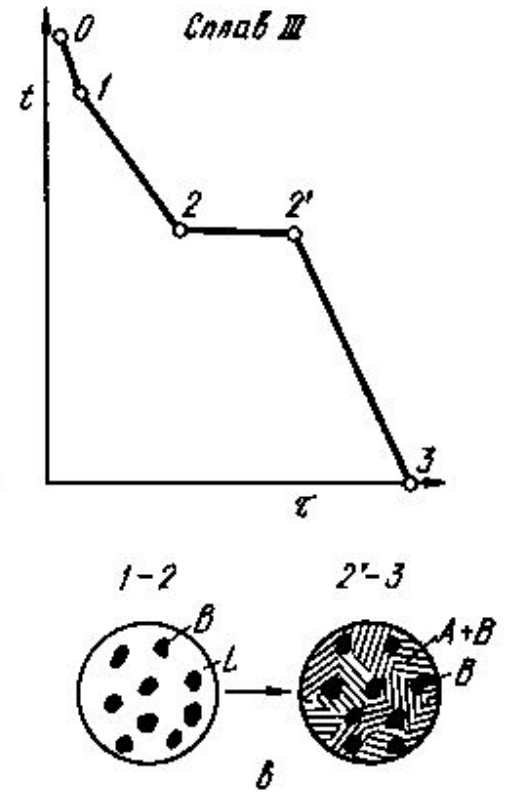
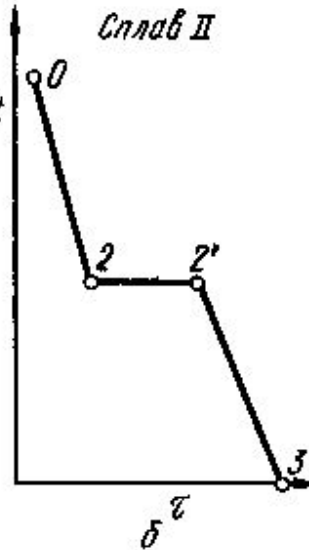
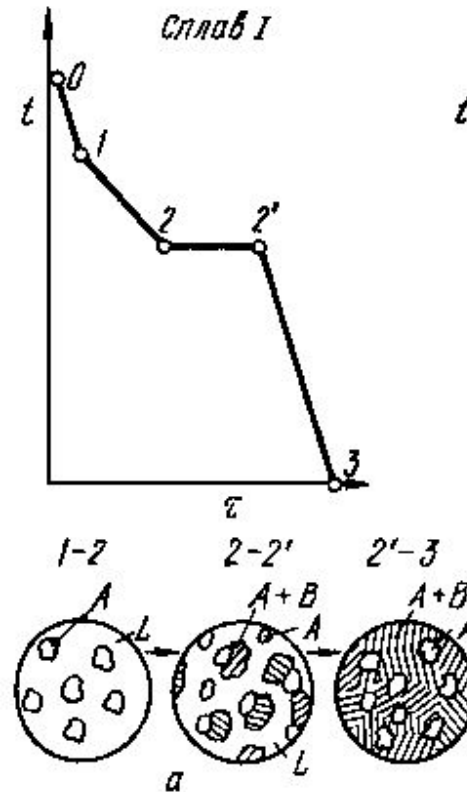
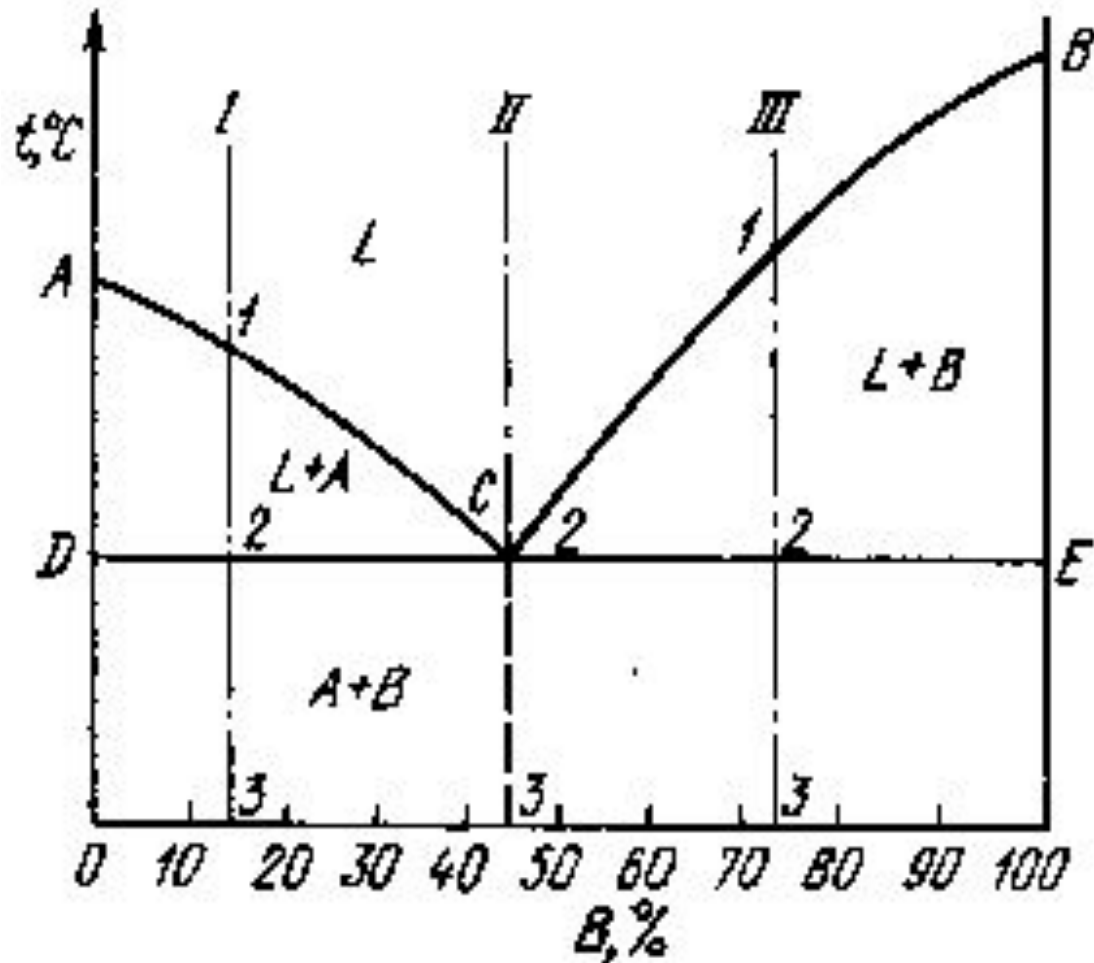
где  $\rho(T_0)$ ,  $\rho(T)$  – удельные сопротивления при температурах  $T_0$  и  $T$  соответственно,  $\alpha_{\rho}$  – температурный коэффициент (удельного) сопротивления, ТКС,  $K^{-1}$  или  $^{\circ}C^{-1}$ .

Величина ТКС у разных проводников различна:

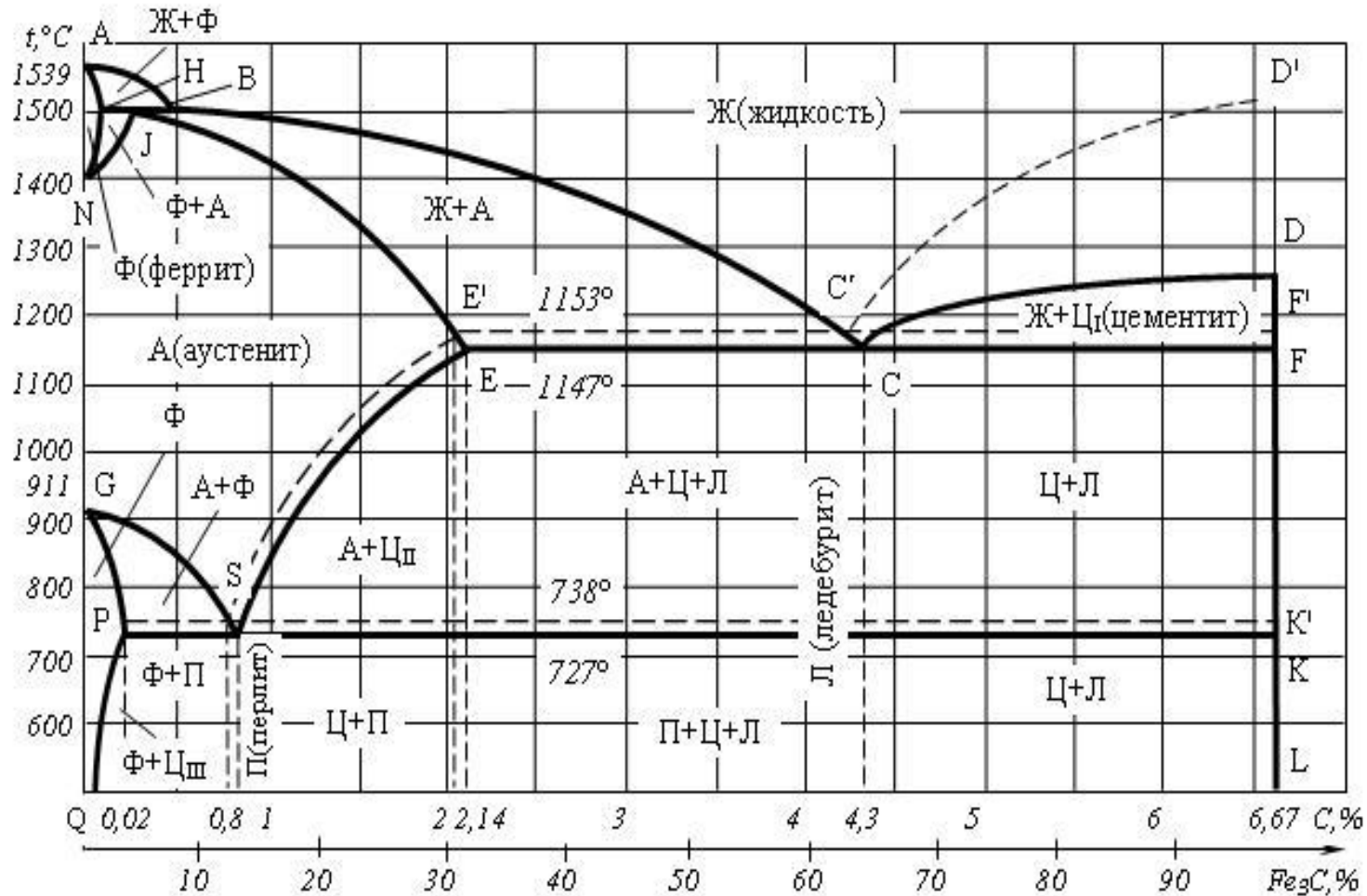
- у большинства чистых металлов  $\alpha_{\rho} \sim 4 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ ;
- у сплавов изменяется в широких пределах: от  $1 \cdot 10^{-6} K^{-1}$  (сплав ЗлМ) до  $1,8 \cdot 10^{-3} K^{-1}$  (ПлН4,5).
- у меди  $\alpha_{\rho} = 4,3 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ ,
- у алюминия  $\alpha_{\rho} = 4,1 \cdot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

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

# Диаграммы состояния сплавов



## Диаграмма состояния железо – углерод



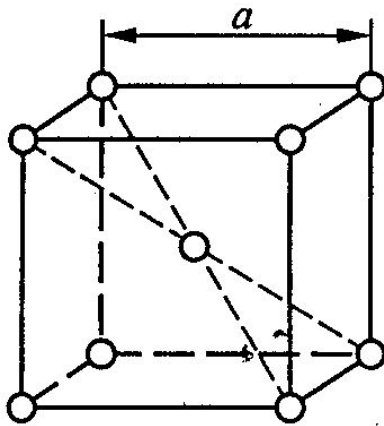
- Ф - феррит - свойства близки к свойствам чистого Fe – о.ц.к., растворяет углерод в небольших количествах, магнитен, при 768°C теряет магнетизм, выше 768°C – точка Кюри - парамагнетик.
- А – аустенит - немагнитен, твёрже феррита, достаточно пластичен.
- Ц – цементит - при низких температурах магнитен, 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.

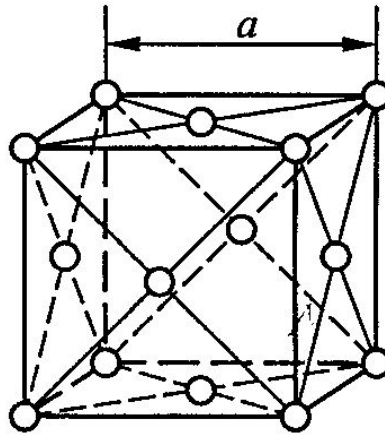
- Фазы, образующиеся при сплавлении двух или нескольких металлов, представляют собой либо **твердые растворы**, либо **интерметаллические соединения** (интерметаллиды).
- При образовании твердого раствора сохраняется кристаллическая решетка металла растворителя.
- Многие металлы, имеющие одинаковые типы 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



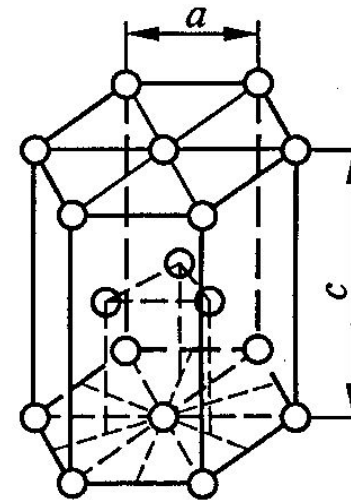
а)

K, Na, Li, Ta, W, Mo, Fe<sub>α</sub>,  
Cr, Nb и др.



б)

Ca, Pb, Ni, Ag, Au,  
Pt, Fe<sub>γ</sub> и др.



в)

Ru, Cd, Mg, Zn и др.

Параметр (a) кубических решеток колеблется в пределах 0,286-0,607 нм.

Параметры гексагональной решетки находятся в пределах: a = 0,228-0,398 нм и c = 0,357-0,652 нм.

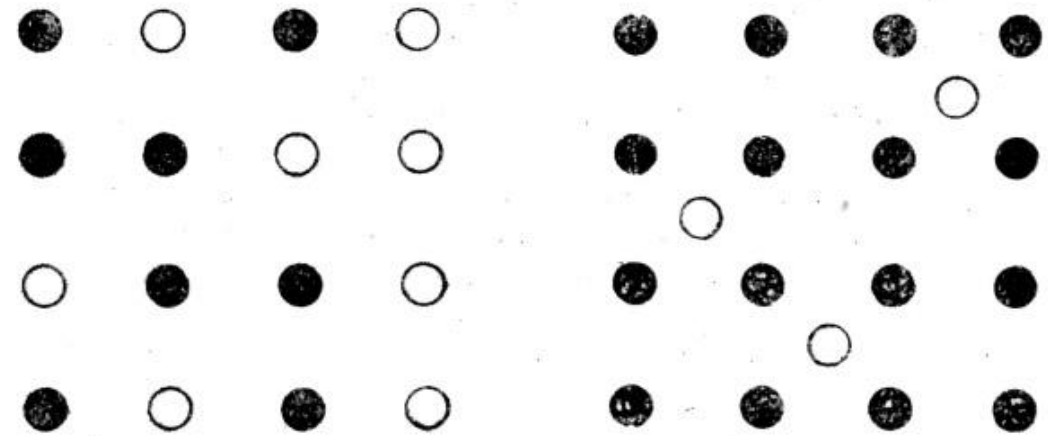
В каждом кубическом сантиметре объема кристаллического тела содержится примерно  $10^{22}$  атомов.

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;

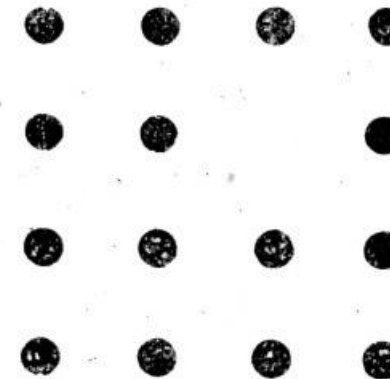
• **растворы внедрения**, когда атомы растворенного металла не замещают атомы металла растворителя, а располагаются в межатомных промежутках его кристаллической решетки;

• **твердые растворы вычитания**, которые образуются при недостатке одного из компонентов сплава.

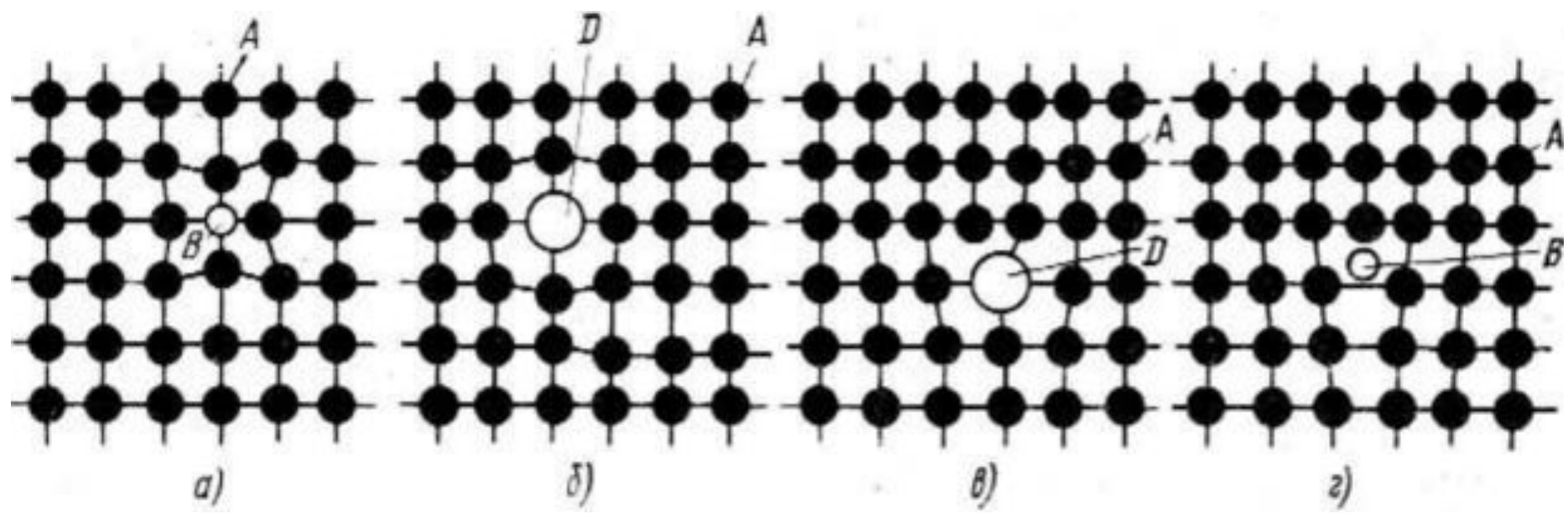


Растворы замещения

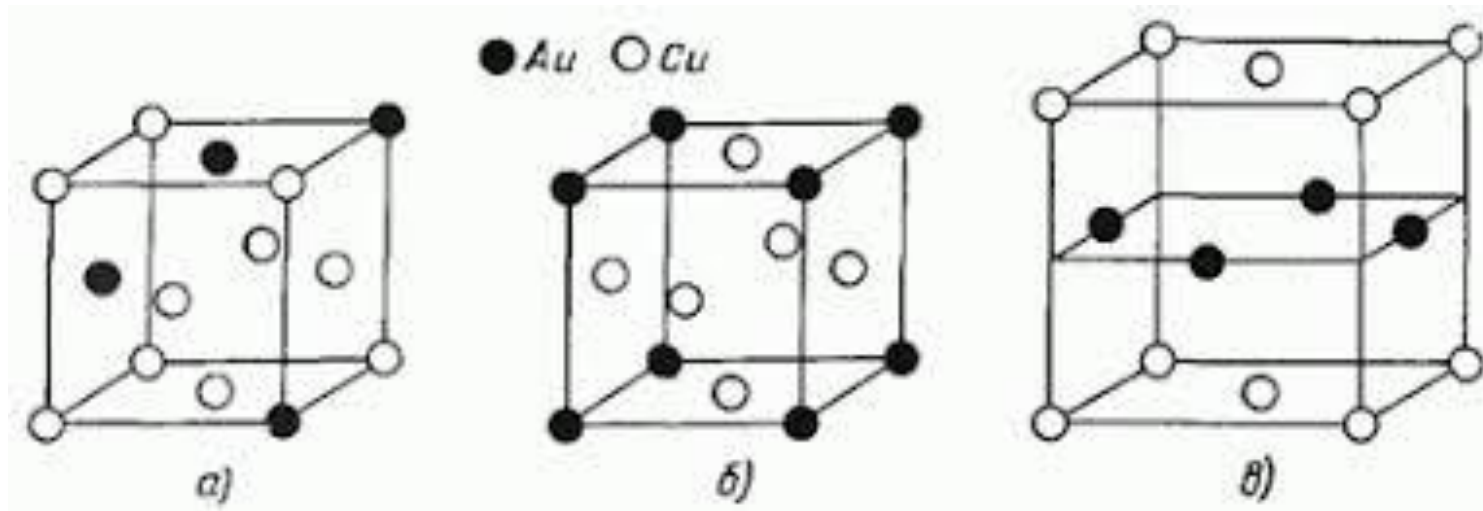
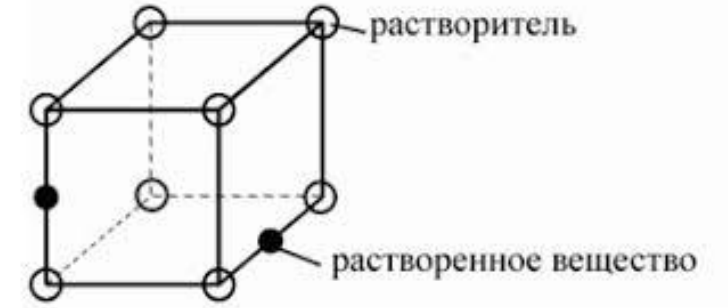
Растворы внедрения



Растворы вычитания



**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  $\text{AuCu}_3$

в – регулярное строение, состав  $\text{AuCu}$



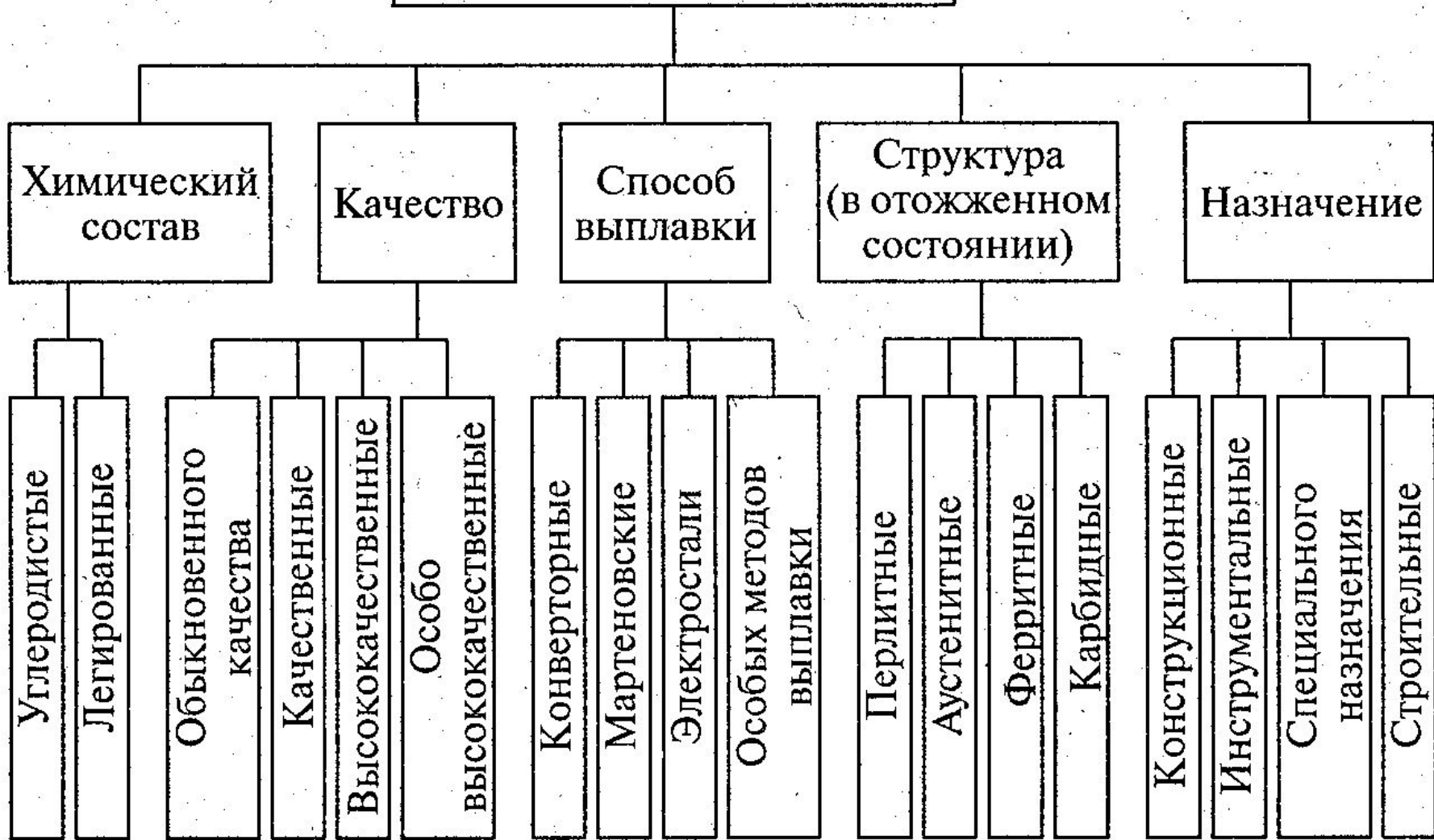
# Интерметаллиды

- 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,  $\text{NaSn}_3$ ,  $\text{NaSn}_2$ ,  $\text{NaSn}$ ,  $\text{Na}_4\text{Sn}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{Sn}$ ,  $\text{Na}_4\text{Sn}$  и др., существующие лишь в определенных пределах состава и температуры.
- Электронное строение интерметаллических соединений имеет характерные свойства металлического состояния.

# СТАЛИ

- **Сталь** – сплав железа ( $\text{Fe} > 90\%$ ) с углеродом (С 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



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 указывает 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 38XH3MF

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