Курс «Материаловедение»

Лекции: 51 час (16 лекций)

Лабораторные работы: 17 часов (4 х 2 л/р)

Домашнее задание: сдача/защита на лабораторном практикуме

Самостоятельная проработка курса: 30 часов

Лектор: Минаков Александр Александрович

labmatved@yandex.ru

Модули

I | **II**

1-ая часть курса

0...25 баллов= Оц1 | 0...25 баллов=Оц2

(0-5 – «1» 5-10 – «2»; 10-15 – «3»; 15-20 – «4»; 20-25 – «5»)

Если:

от «1» до «2» – незачёт+данные модули выносятся на экзамен;

от «3» до «5» – зачёт+данные модули не выносятся на экзамен.

III

Лабораторный практикум

4 раза х 2 л/р= 8 л/р

(выполнение+защита)

Домашнее задание

(выполнение+защита)

0...20 баллов

<12 баллов – незачёт по лабораторному практикуму

IV

Экзамен

по II части курса

0...30 баллов

0...20 + 0...30 = 0...50 баллов = Оц3

(0-10 – «1»; 10-20 – «2»; 20-30 – «3»; 30-40 – «4»; 40-50 – «5»)

Если:

от «1» до «2» – незачёт по II части курса => экзамен на пересдачу;

от «3» до «5» – зачёт по II части курса.

Итог по экзамену (при успешной сдаче всего перечисленного)

Оценка за экзамен = (Оц1 + Оц2 + Оц3) / 3

Введение

Материаловедение – наука, изучающая зависимость между составом, строением и свойствами материалов и закономерности их изменения под воздействием внешних факторов (механических, тепловых, химических, радиоактивных, электромагнитных)

Какие материалы изучает?

Что дала природа?

металлы (Ме) не металлы (неМе)

(различные руды)

Что создал человек?

Множество деталей и конструкций

определённые требования

(механические, эксплуатационные и т.д.)

отвечают ли требованиям?

чаще всего нет

потребность в создании материалов

каких материалов?

Конструкционные материалы – это такие материалы, из которых изготавливаются различные виды конструкций и деталей машин, воспринимающих силовые нагрузки.

Основные конструкционные материалы
~ 90 % от всех

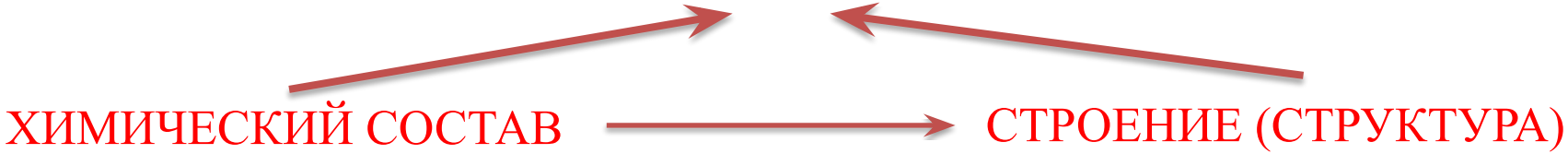
1) Сплавы на основе Fe («чёрные металлы») – сталь и чугун
2) Сплавы на основе Al, Cu, Ti и т.д. («цветные металлы»)

Новые классы конструкционных материалов:
~ 10 % от всех

- полупроводники;
- пластические массы;
- композиционные материалы;
- аморфные сплавы;
- металлокерамики;
- сверхпроводящие керамики;
- наноматериалы;
- материалы с памятью формы и т.д.

Конструкционные материалы обладают комплексом свойств и характеристик, отвечающих заданным требованиям

А как получить эти свойства и повлиять на них?



А как повлиять на хим-ий состав и структуру?

Этапы технологии металлов:

I – Металлургия – получение металла заданного состава (косвенно и формы)
II – Механическая технология – получение из металла изделий заданной внешней формы
III – Термическая обработка (Т.О.) или химико-термическая обработка (Х.Т.О.) – получение заданных (!!!) свойств

} Изменение структуры на всех этапах

Содержание курса

I часть курса – «Закономерности формирования структуры и способы управления свойствами материалов»
(32 часа = 16 лекций ~ 11 недель 2 модуля)
II часть курса – «Материалы, применяемые в машиностроении»
(19 часов = 9,5 лекций ~ 6 недель модуль-экзамен)

I часть «Закономерности формирования структуры и способы управления свойствами материалов»

3 главы
(I модуль)

Глава I «Кристаллическое строение материалов»

Глава II «Формирование структуры металла в процессе литья»

Глава III «Формирование структуры металла при деформировании»

3 главы
(II модуль)

Глава IV «Сплавы. Влияние химического состава сплава на структуру сплавов»

Глава V «Влияние термической обработки на структуру и свойства сплавов»

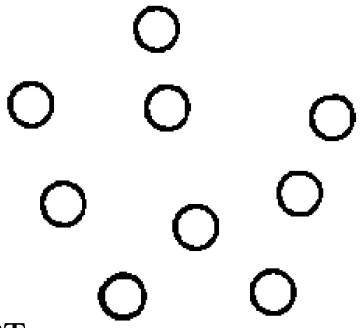
Глава VI «Влияние химико-термической обработки и поверхностной термической обработки на структуру и свойства сплавов»

Глава I «Кристаллическое строение материалов»

§ 1. Закономерности расположения частиц в материалах

Агрегатные состояния вещества

газообразное

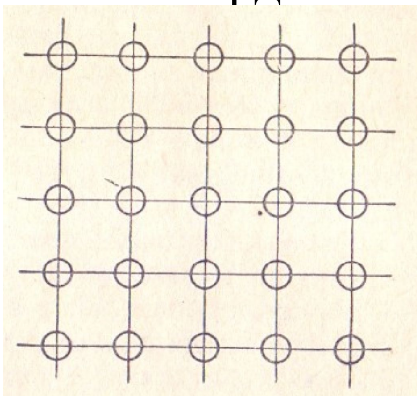


нет закономерности расположения частиц; частицы хаотично двигаются, отталкиваясь одна от другой

жидкое

частицы сохраняют ближний порядок (неустойчив, то возникает, то пропадает под действием энергетических тепловых колебаний, т.е. небольшое кол-во частиц закономерно расположено в пространстве

твёрдое



частицы сохраняют дальний порядок, т.е. во всём объёме материала частицы закономерно расположены в пространстве

Твёрдое состояние = кристаллическое состояние, для которого характерно закономерное расположение атомов в пространстве

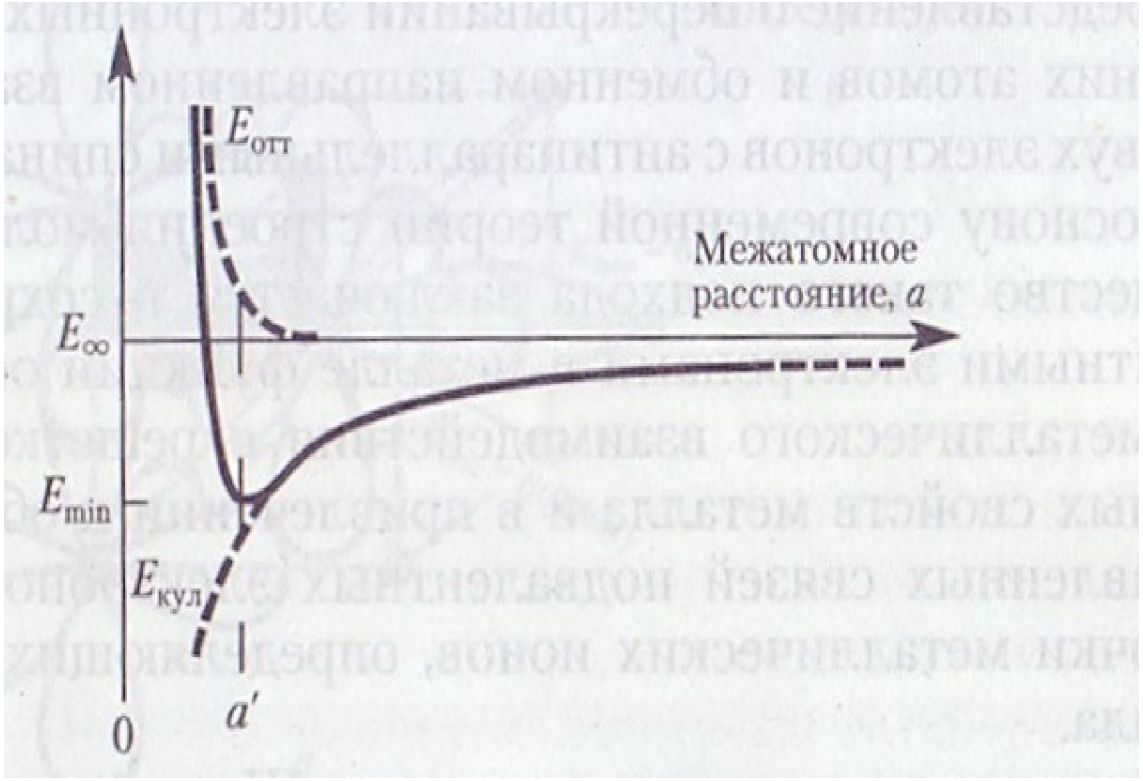
А почему именно закономерное расположение?

§ 2. Устойчивость кристаллического состояния

Устойчивость материала с кристаллическим состоянием зависит от сил притяжения и отталкивания между частицами (атомами) в твёрдом теле

взаимодействие электронов и «+» ядра } $F_{прит}$

взаимодействие «+» ядер соседних атомов } $F_{от}$



При a_0 $F_{прит} = F_{от}$; $E_{взаим} = E_{min}$ □ система максимально устойчива

А всегда ли твёрдое состояние является синонимом кристаллическому состоянию?

§ 3. Аморфное состояние материала

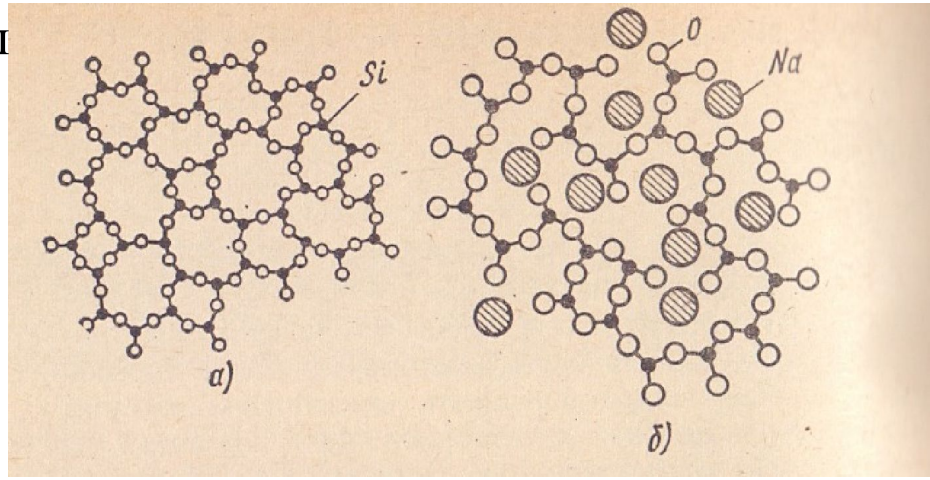
Примеры: неорганическое стекло; ситаллы (стеклокристаллические материалы)

стекло

постепенно густеет

жидкое ⟷ твёрдое

постепенно размягчается



Структура неорганического стекла:
а) кварцевого
б) натрийсиликатного

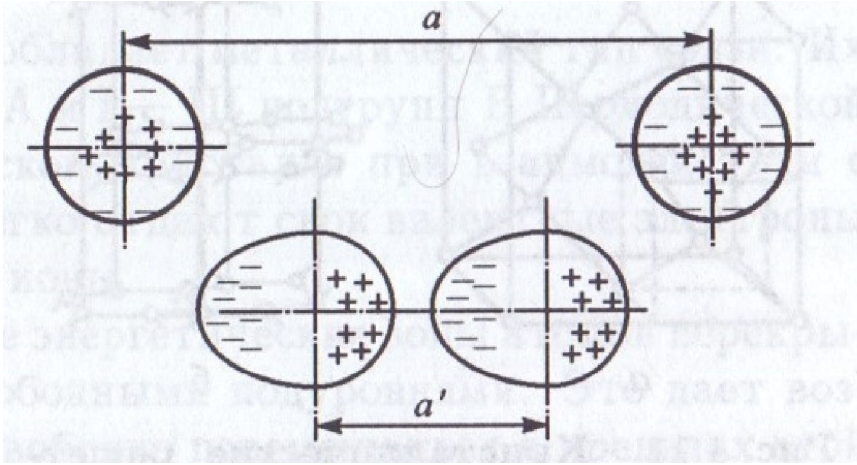
В отличие от металлов у аморфных материалов отсутствует определённая температура плавления. Также строение аморфных материалов неупорядоченное и неоднородное, а самое главное оно нестабильно (повторный нагрев, длительная выдержка при $t_{комн}$, деформация приводят к частичному или полному переходу в твёрдое состояние [например, помутнение органических стёкол]). Как получить аморфные материалы смотри в главе III.

Итог по § 1+2 – Все металлы (а также сплавы) тела кристаллические, имеющие высокую $E_{связи}$ между атомами (для полного разделения атомов требуется высокая энергия сублимации $E_\infty - E_{min}$)

Какая же бывает связь между частицами в кристаллических материалах?

§ 4. Типы связей в кристаллических материалах

А. Молекулярная связь (силы Ван-дер-Ваальса):



- между атомами/молекулами/ионами (H_2, Y_2, Cl_2, H_2O, CO_2, органические вещества);
- образование диполей при поляризации;
- связь ненаправленная, т.к. соседние частицы равноценны;
- укладка частиц компактная;
- связь слабая ($E_{связи} \sim 0{,}1\text{-}1$ кДж/моль)

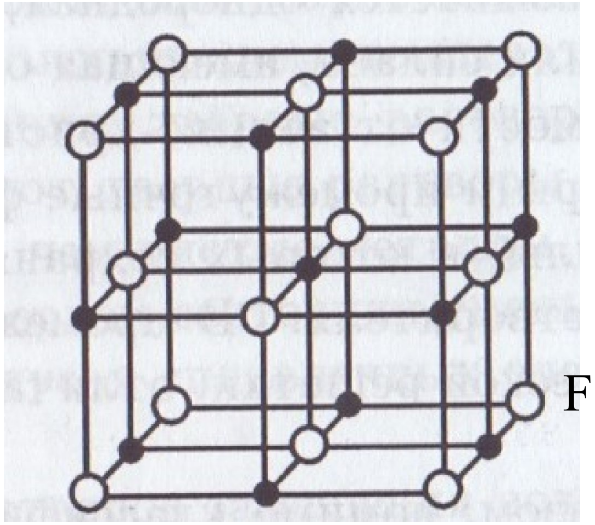
Свойства кристаллов: низкая $t_{плавл}$, диэлектрики.

Б. Ионная связь :

- между ионами Ме и неМе

$$\left.\begin{array}{l} K - 1e \rightarrow K(+) \\ 1e + F \rightarrow F(-) \end{array}\right\} KF;$$

- электростатическое притяжение между разноимённо-заряженными ионами;
- связь ненаправленная;
- укладка частиц компактная;
- связь сильная ($E_{связи} \sim$ 10-100 кДж/моль)

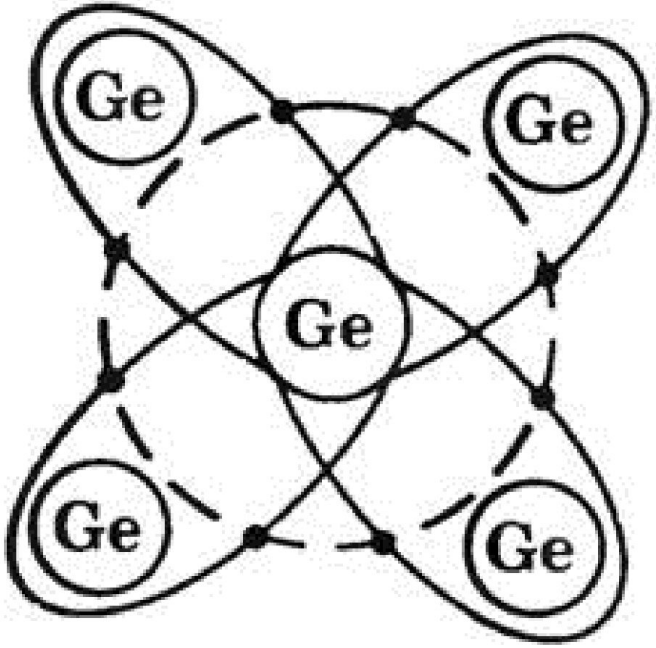


Свойства кристаллов: высокая $t_{плавл}$,низкий коэффициент лингейного расширения, полупроводники или диэлектрики.

В. Ковалентная связь

Ge^{32} $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^2$

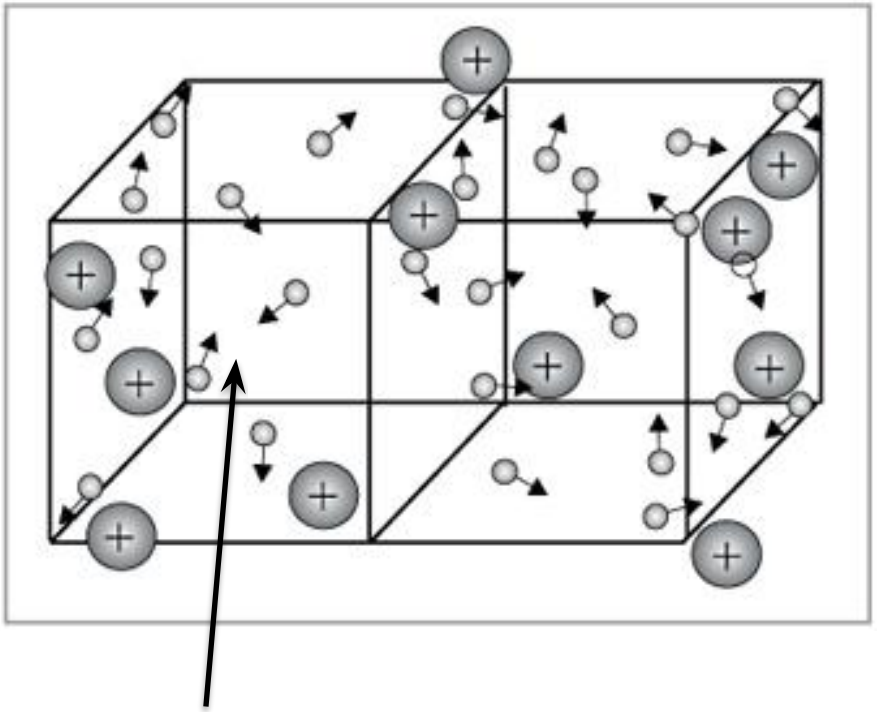
- между элементами подгрупп IVB-VIB: C, Se, Si, Ge, т.е. металлоиды и полупроводники, алмаз);
- создание валентной зоны при обобществлени (обмене) валентных электронов соседних атомов;
- связь направленная;
- укладка частиц неплотная (у Ge всего 4 соседа);
- связь сильная ($E_{связи}$ ~ 100 кДж/моль)



Свойства кристаллов: полупроводники/диэлектрики, высокая твёрдость (=> высокая хрупкость).

Г. Металлическая связь:

- между Ме (все подгруппы А и IB-IIIB);
- обобществление (коллективизация) валентных электронов;
- связь ненаправленная;
- наиплотнейшая укладка частиц;
- связь средняя ($E_{связи}$ ~ 10 кДж/моль)



«электронный газ»

Итог: для металлов (кроме переходных) характерен металлический тип связи, что придаёт им характерные свойства металлического состояния вещества

Так что же из себя представляет компактное кристаллическое строение?

§ 5. Атомно-кристаллическая структура Ме (идеальный случай)

Атомно-кристаллическая структура – это взаимное расположение атомов (т.е. ионов) в кристалле.

Кристалл – это совокупность атомов (т.е. ионов), расположенных в определённой последовательности, повторяющаяся периодически в пространстве и имеющая правильную геометрическую форму.

Для описания атомно-кристаллической структуры используется понятие кристаллическая решётка (КР).

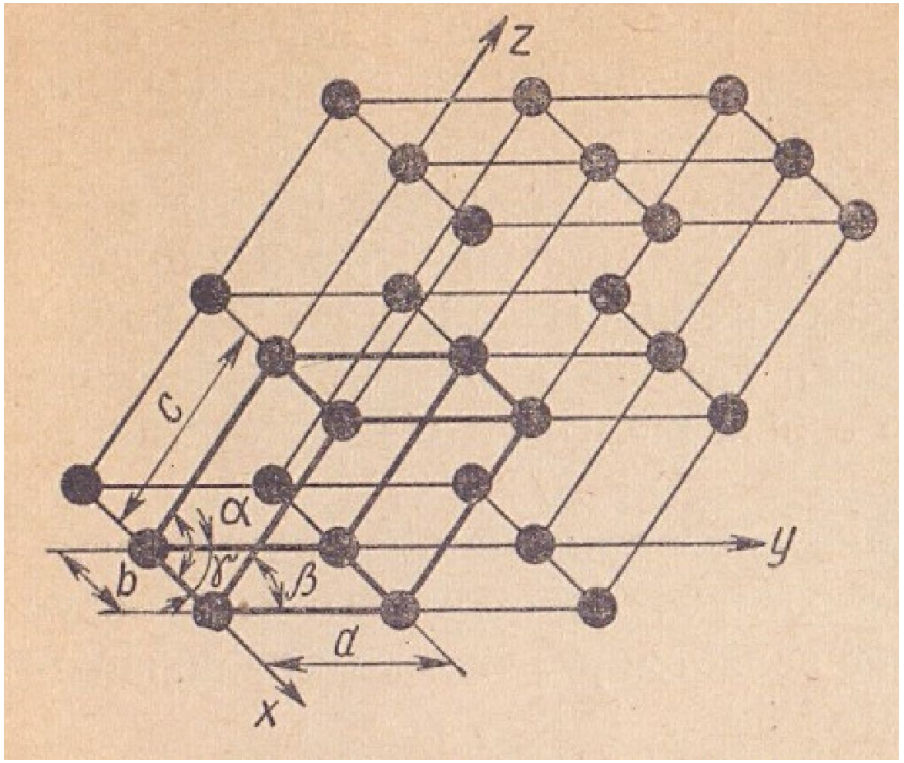
КР – воображаемая пространственная сетка, в узлах которой располагаются атомы (т.е. ионы), образующие Ме.

Для описания любой КР вводится понятие элементарной кристаллической ячейки (ЭЯ).

ЭЯ – наименьший объём кристалла, последовательным перемещением которого в пространстве вдоль 3-х осей может быть построена вся КР.

характеристики ЭЯ:

- единичные отрезки (периоды) a,b,c;
- углы между осями α,β, γ.

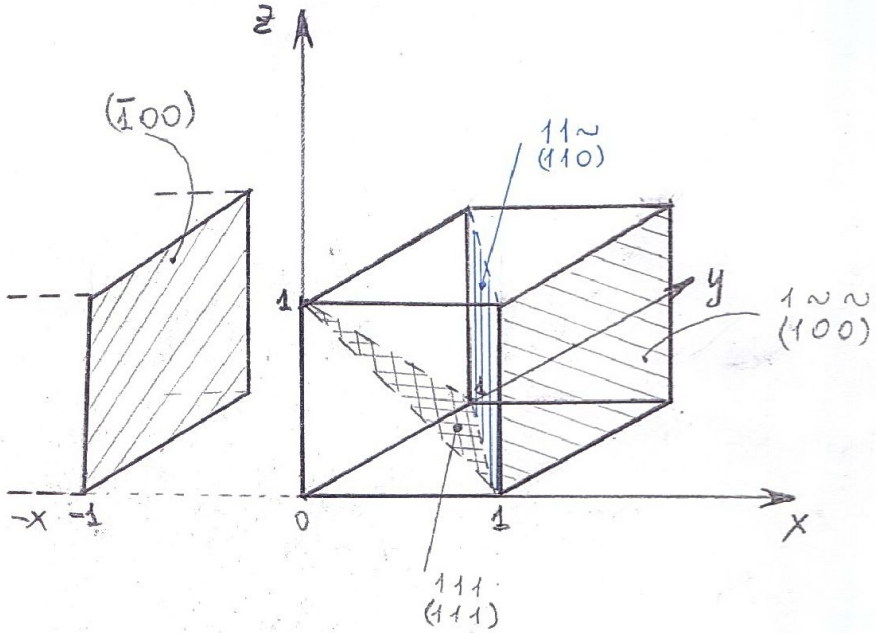


Возможны семь кристаллографических систем:

1) триклинная a≠b≠c и α ≠ β ≠ γ ≠90°;
2) моноклинная a≠b≠c и α = γ = 90° , β ≠90°;
3) ромбическая a≠b≠c и α = β =γ = 90°;
4) гексагональная a=b≠c и α = β = 90°, γ = 120°;
5) ромбоэдрическая a=b=c и α = β = γ ≠90°;
6) тетрагональная a=b≠c и α = β = γ = 90°;
7) кубическая a=b=c и α = β = γ = 90°;

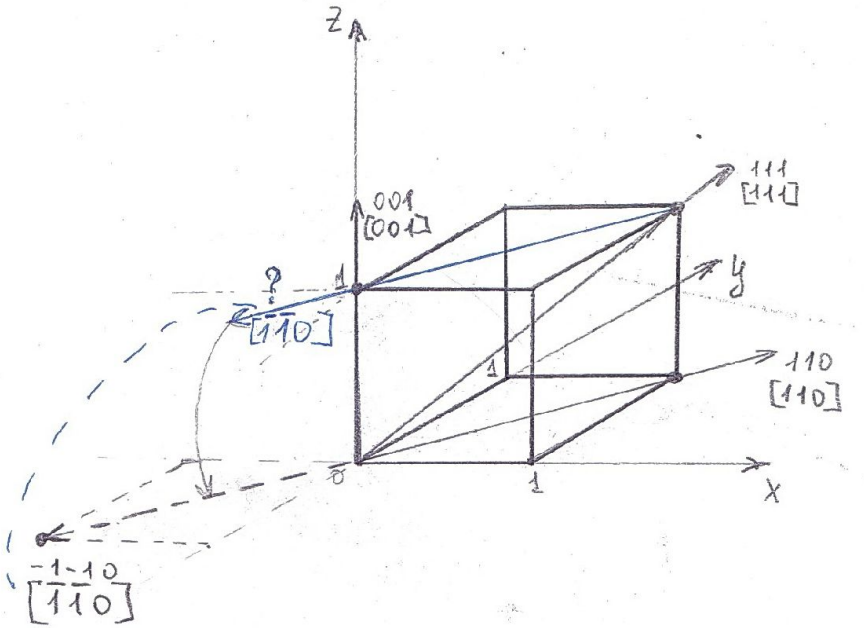
С помощью ЭЯ можно дать обозначения :

1) атомных плоскостей
через индексы (h k l) – это числа, величины которых обратны осевым отрезкам, отсекаемых данной плоскостью на осях координат



плоскость (111) – 4 шт;
{111} – семейство плоскостей

2) атомных направлений
через индексы [u v w] – это значения координат ближайшего узла, через которое проведено направление (- это луч (н.к.; произвольная точка)), приведённое к отношению трёх наименьших чисел



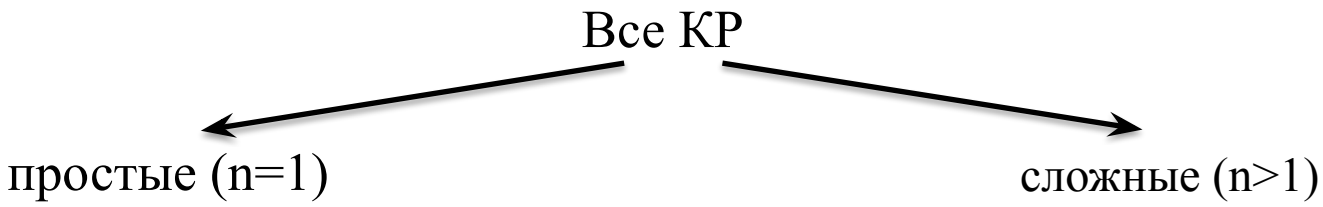
направление [110] – 3 шт;
<110> – семейство направлений

КР характеризуется следующими показателями:

а) n – число атомов, приходящихся на одну ЭЯ;

б) плотность КР характеризуется координационным числом К – это число атомов, находящихся на равном и наименьшем расстоянии от данного атома

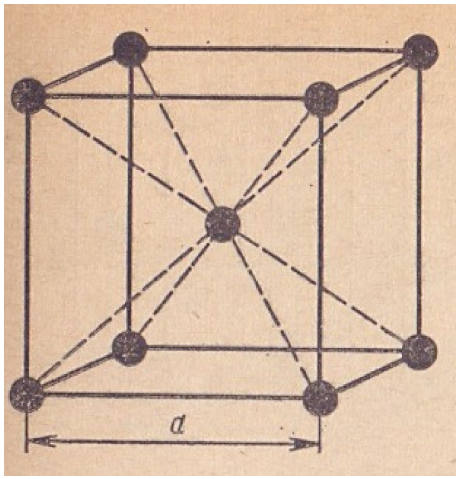
в) коэффициент заполнения ячейки $\eta=(V_{атомы}/V_{ячейки})*100\ \%$



Итог: Ме обладают всего тремя сложными высокосимметричными КР (с наиплотнейшей укладкой):

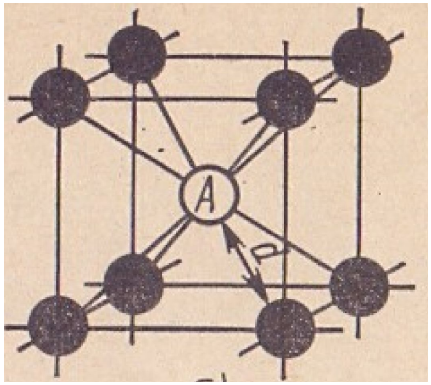
- кубическая объёмоцентрированная (ОЦК);
- кубическая гранецентрированная (ГЦК);
- гексагональная плотноупакованная (ГПУ).

кубическая Объёмоцентрированная (ОЦК) – V, Cr, Mo, Ta, …



$n = 8^* (1/8) + 1 = 2$

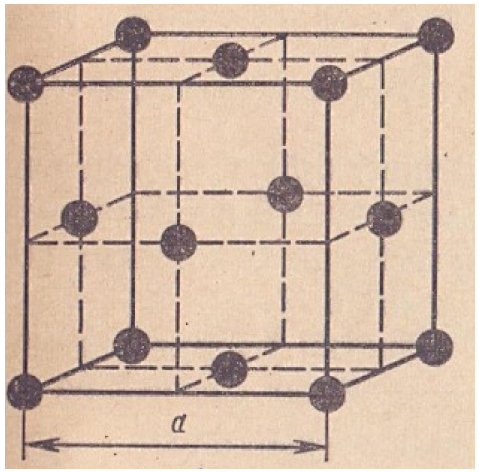
узловой — центральный



К=8

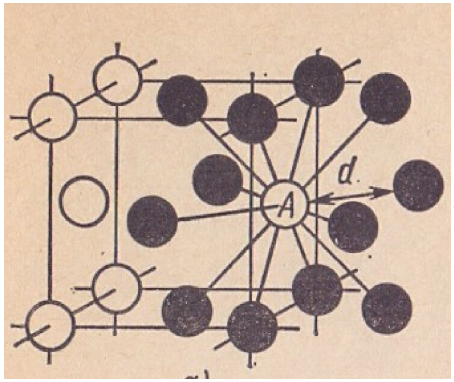
η = 68 % (остальное пустоты)

кубическая гранецентрированная (ГЦК) – Ni, Cu, Al, Ag, Au, ...



$n = 8^* (1/8) + 6^*(1/2) = 4$

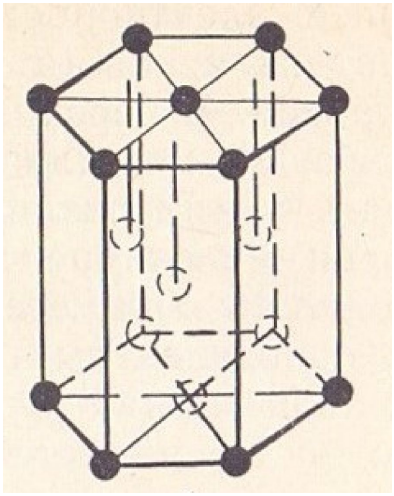
узловой — центральный



К=12

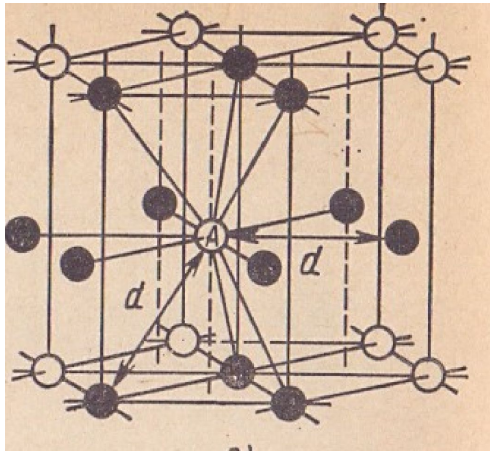
η = 74 % (остальное пустоты)

гексагональная плотноупакованная (ГПУ) – Mg, Zn, Be, …



$n = 12^* (1/6) + 2^*(1/2) + 3 = 12$

узлы шестигранника — центр шестигранника — собственные



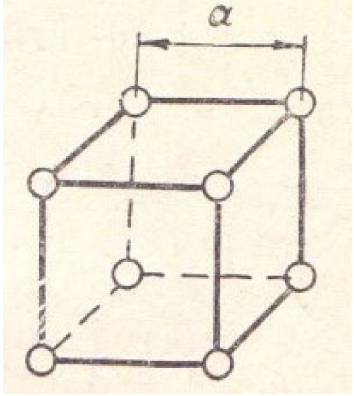
при c/a=1,639

К=12

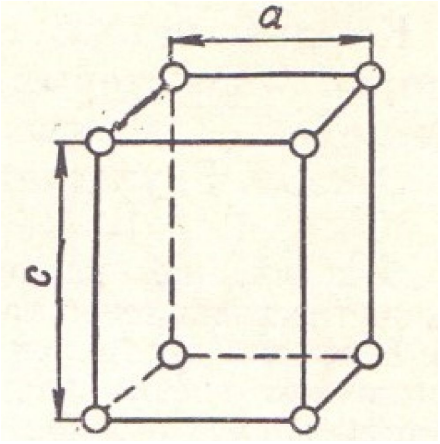
η=74%

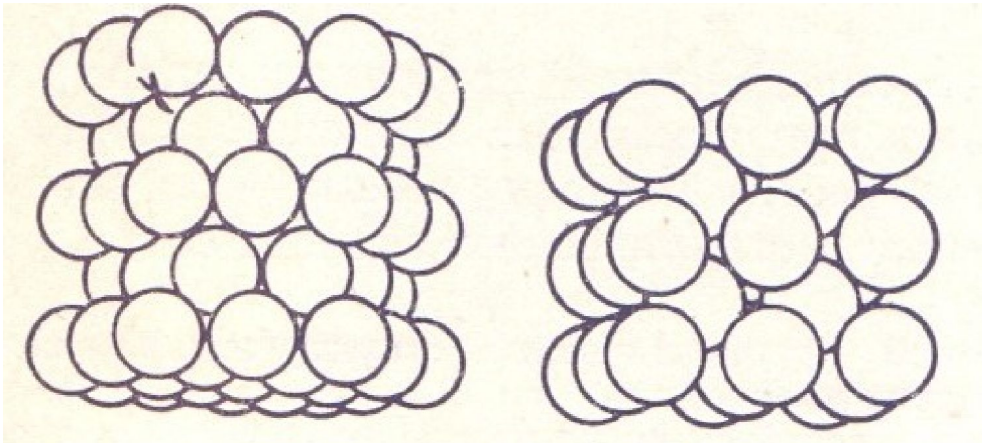
* При c /a ≠1,639 решётку называют гексагональной (К=6, η=50%)

Некоторые Ме имеют простую кубическую решётку (обозначается К6) – Si и др.



Некоторые Ме имеют тетрагональную решётку – Mn, Ga и др.
Тетрагональная решётка характеризуется степенью тетрагональности c/a





КР ГПУ КР ОЦК

«заполнение шарами (атомами)»

Кристаллические решетки металлических элементов

3 Li К8	4 Be Г12												
11 Na К8	12 Mg Г12	13 Al К12											
19 K К8	20 Ca К12 (Г12)	21 Sc	22 Ti Г12 К8	23 V К8	24 Cr К8	25 Mn кубическая сложная, кубическая сложная, тетрагональная	26 Fe К8 К12	27 Co Г12 К12	28 Ni К12	29 Cu К12	30 Zn Г6	31 Ga тетрагональная	32 Ge алмаза
37 Rd К8	38 Sr К12	39 Y Г12	40 Zr Г12 К8	41 Nb К8	42 Mo К8	43 Tc	44 Ru Г12	45 Rh К12	46 Pd К12	47 Ag К12	48 Cd Г12	49 In тетрагональная	50 Sn алмаза, тетрагональная
55 Cs К8	56 Ba К8	57—71 редкоземельные элементы К12 Г12	72 Hf Г12	73 Ta К8	74 W К8	75 Re Г12	76 Os Г12	77 Ir Г12	78 Pt К12	79 Au К12	80 Hg Г6	81 Tl Г12 К12	82 Pb К12

А всё ли так идеально в структуре кристаллов?