



Омский государственный технический университет
каф. Технология электронной аппаратуры

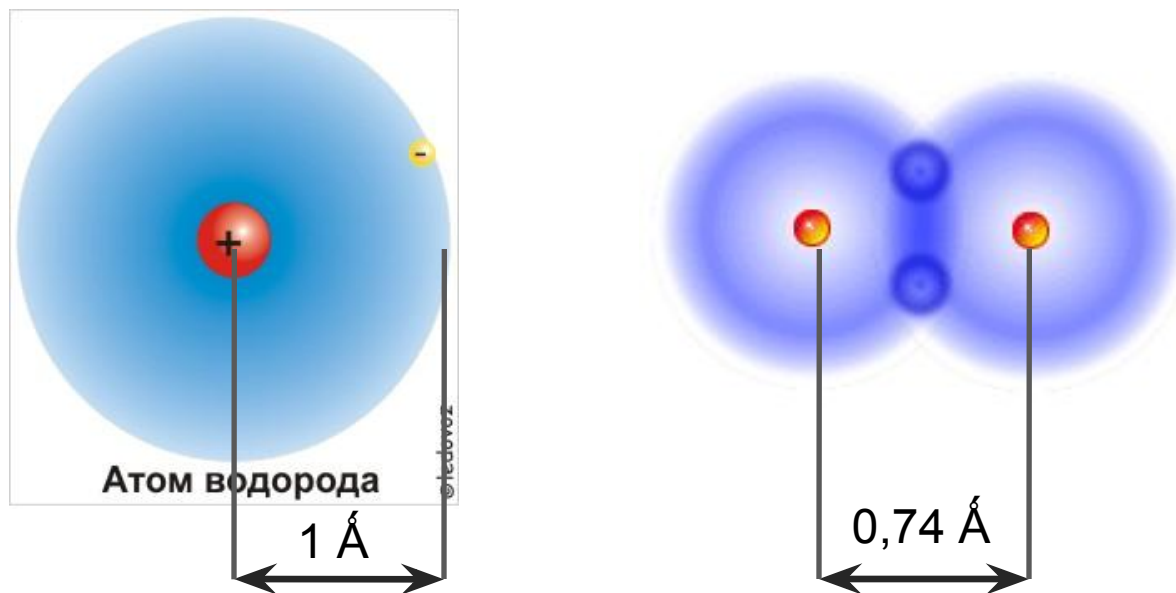
Дисциплина
Радиоматериалы и радиокомпоненты

Лекция 2. Строение и структура
материалов

Ст. преп. Пономарёв Д.Б.

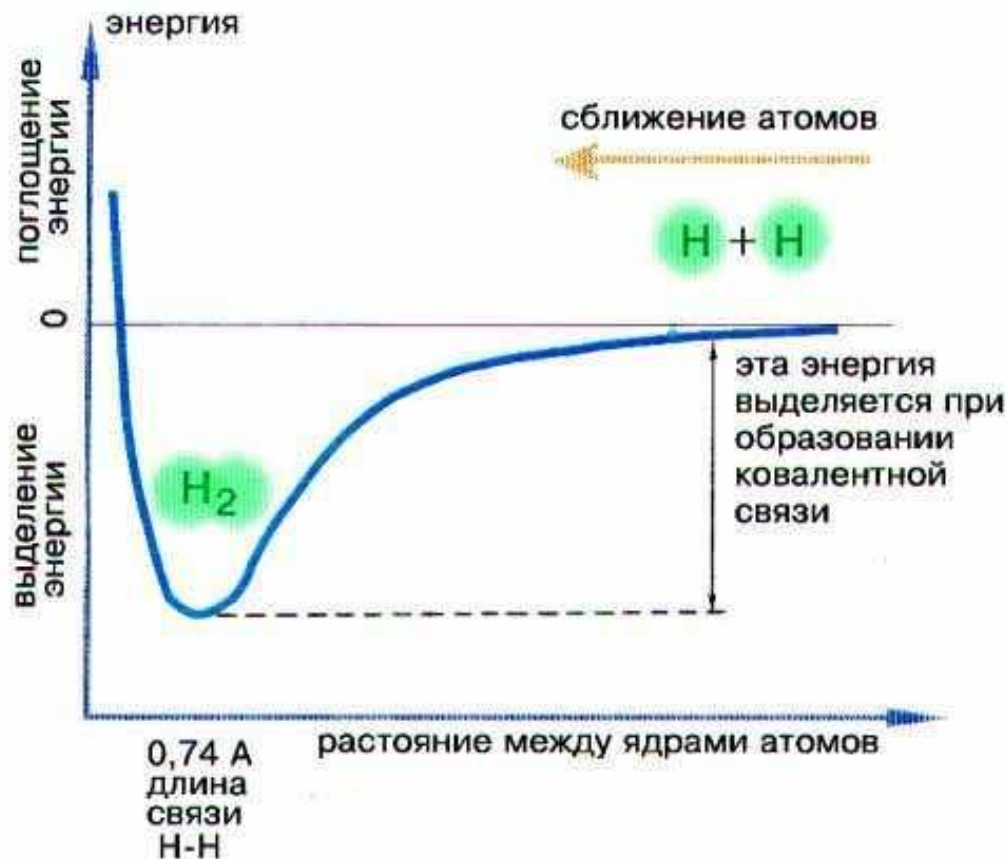


2.1. Виды химической связи



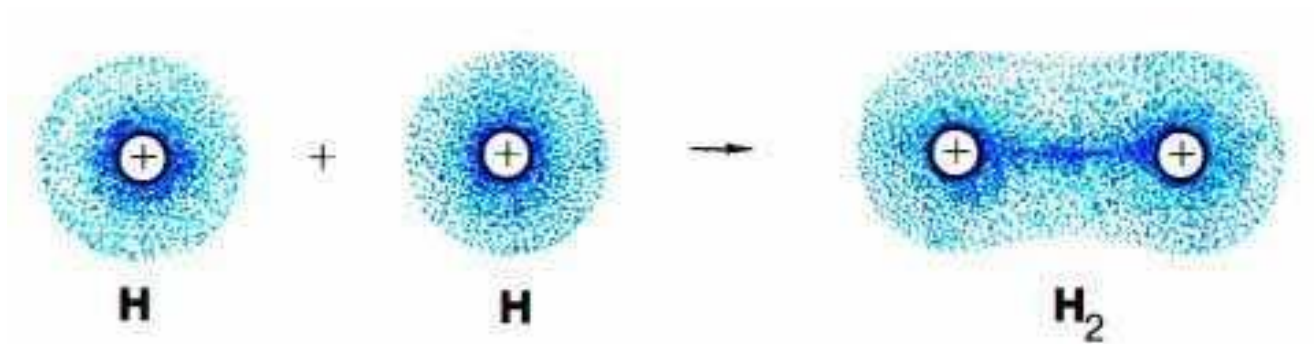
При сближении атомов до расстояния нескольких долей нанометра ($1\text{ нм} = 10^{-9}\text{ м} = 10\text{ \AA}$), между ними появляются *силы взаимодействия*. Если эти силы являются *силами притяжения*, то атомы могут соединяться с выделением энергии, образуя химические соединения.

Закон о минимуме потенциальной энергии



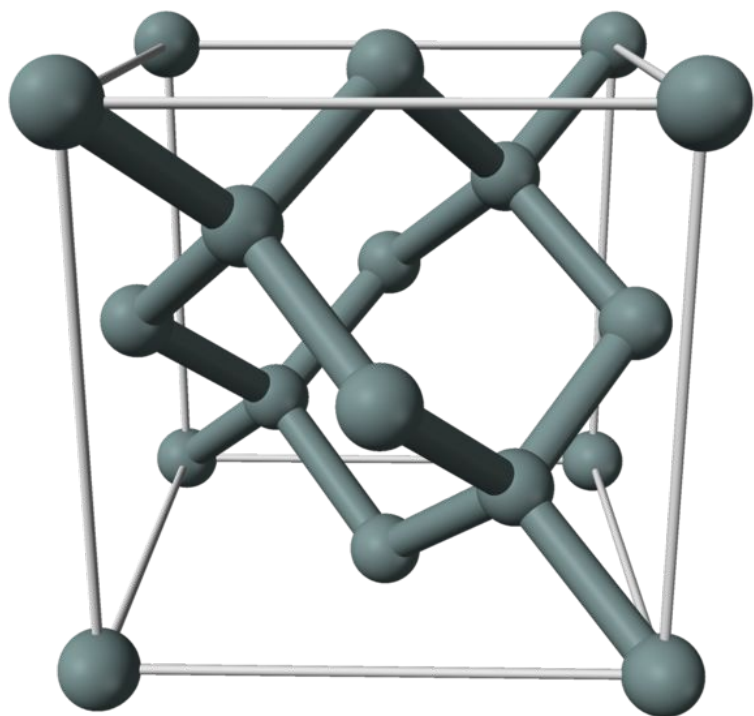
Кривая изменения потенциальной энергии при взаимодействии двух атомов водорода с образованием молекулы водорода. Принято говорить, что электроны *обобществлены*.

1) Ковалентная (гомеополярная) связь



Образована атомами с одинаковой электроотрицательностью.

Объединение атомов в молекулу достигается за счет электронов, которые становятся общими для пар атомов.



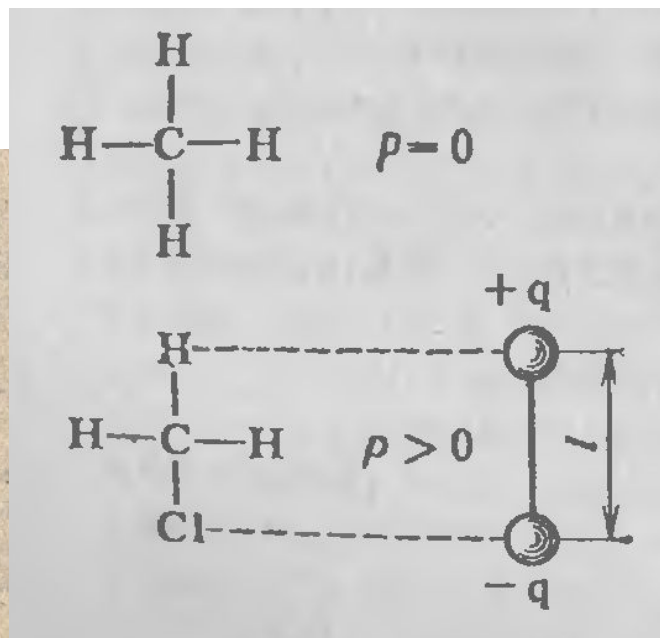
Ковалентная связь характерна как для органических, так и для неорганических соединений. К неорганическим веществам с ковалентной связью относятся алмаз, кремний, германий, арсенид галлия (GaAs), карбид кремния (SiC) и другие, являющиеся полупроводниками.

Ковалентная неполярная связь

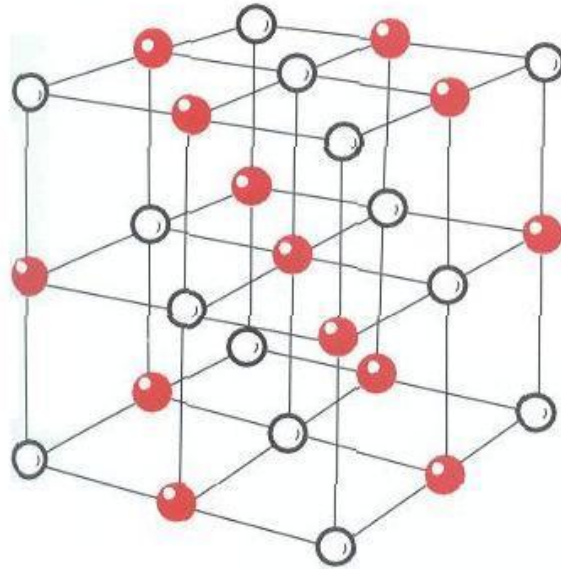
-центры положительных и отрицательных зарядов совпадают.

Ковалентная полярная (дипольная) связь

- центры положительных и отрицательных зарядов не совпадают и находятся на некотором расстоянии друг от друга.

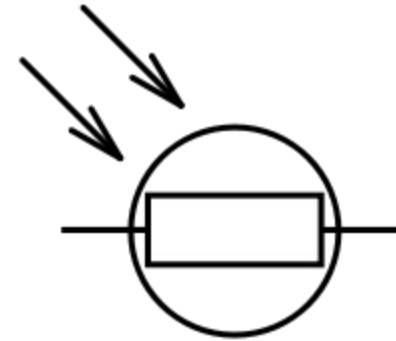
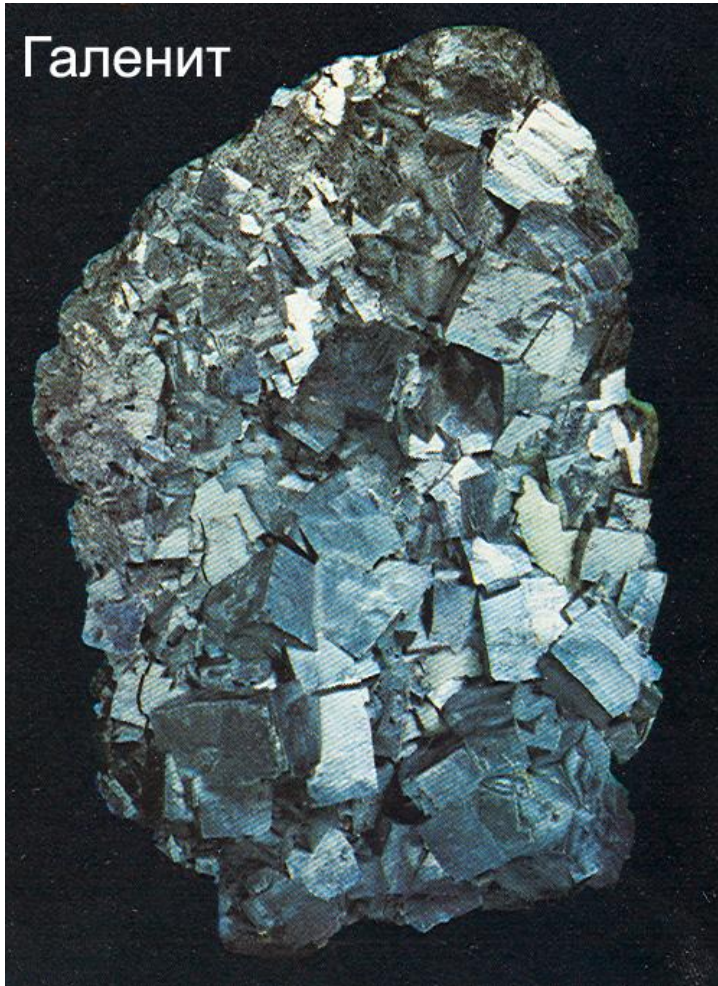


2) Ионная (гетерополярная) связь



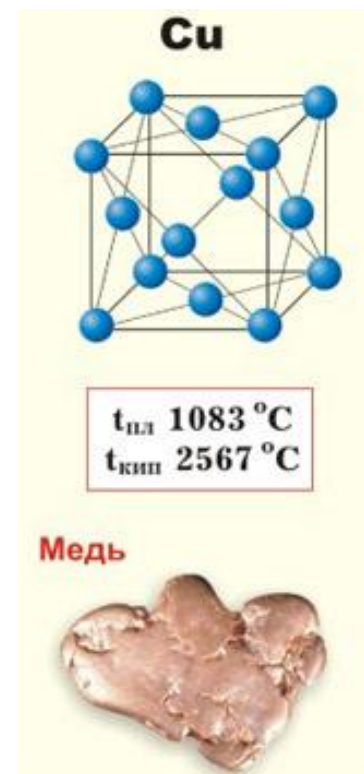
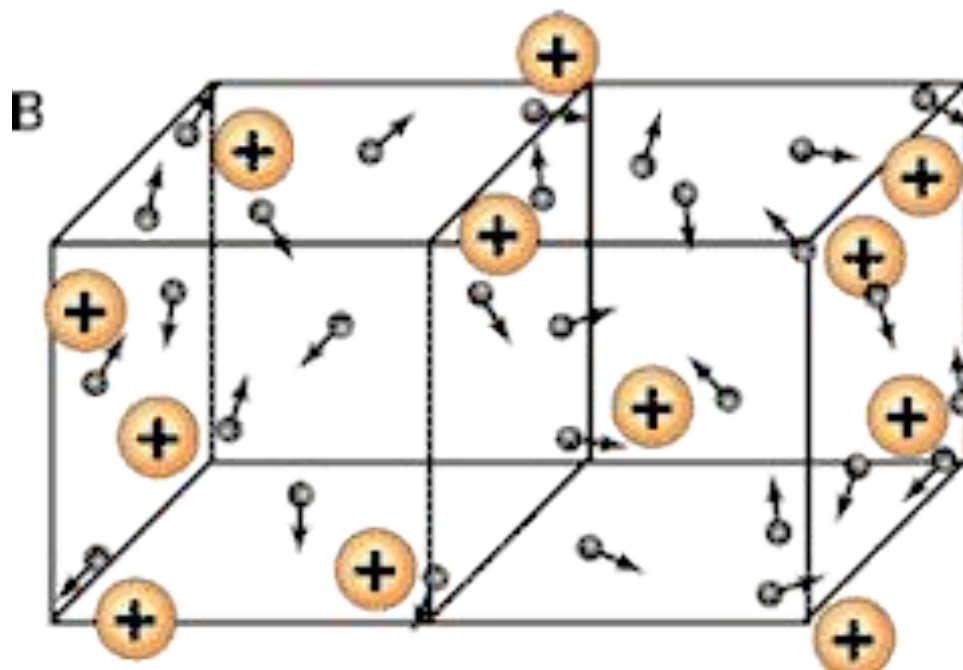
Наблюдается в химических соединениях атомов металла с металлоидными атомами (типа NaCl). Ионная связь возникает вследствие перехода валентных электронов от металлоидного атома к металлоидному и возникновения электростатического притяжения разноименно заряженных атомов друг другу.

Сульфид свинца PbS



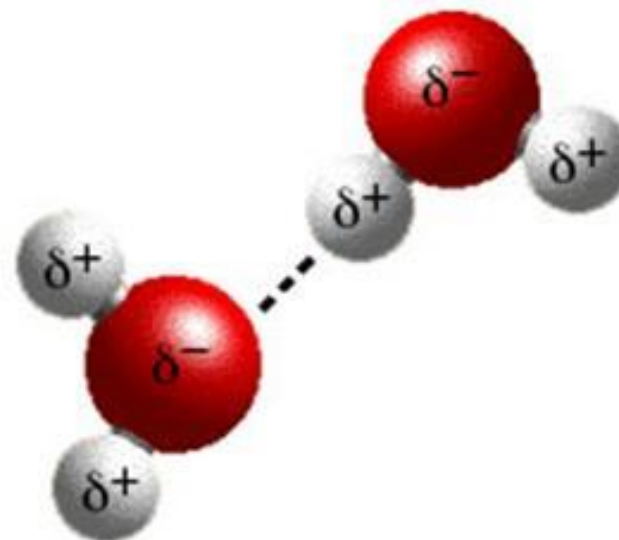
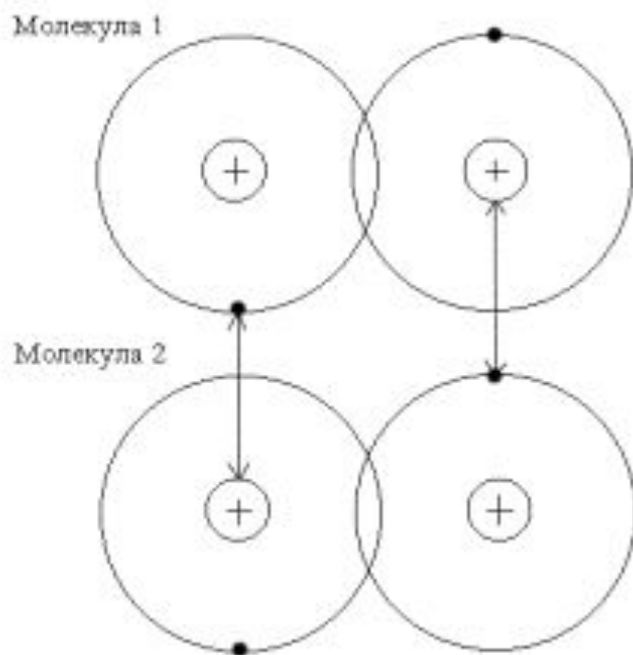
Сульфид свинца — хороший материал полупроводниковой техники, фотоприемников и детекторов ИК-диапазона.

3) Металлическая связь



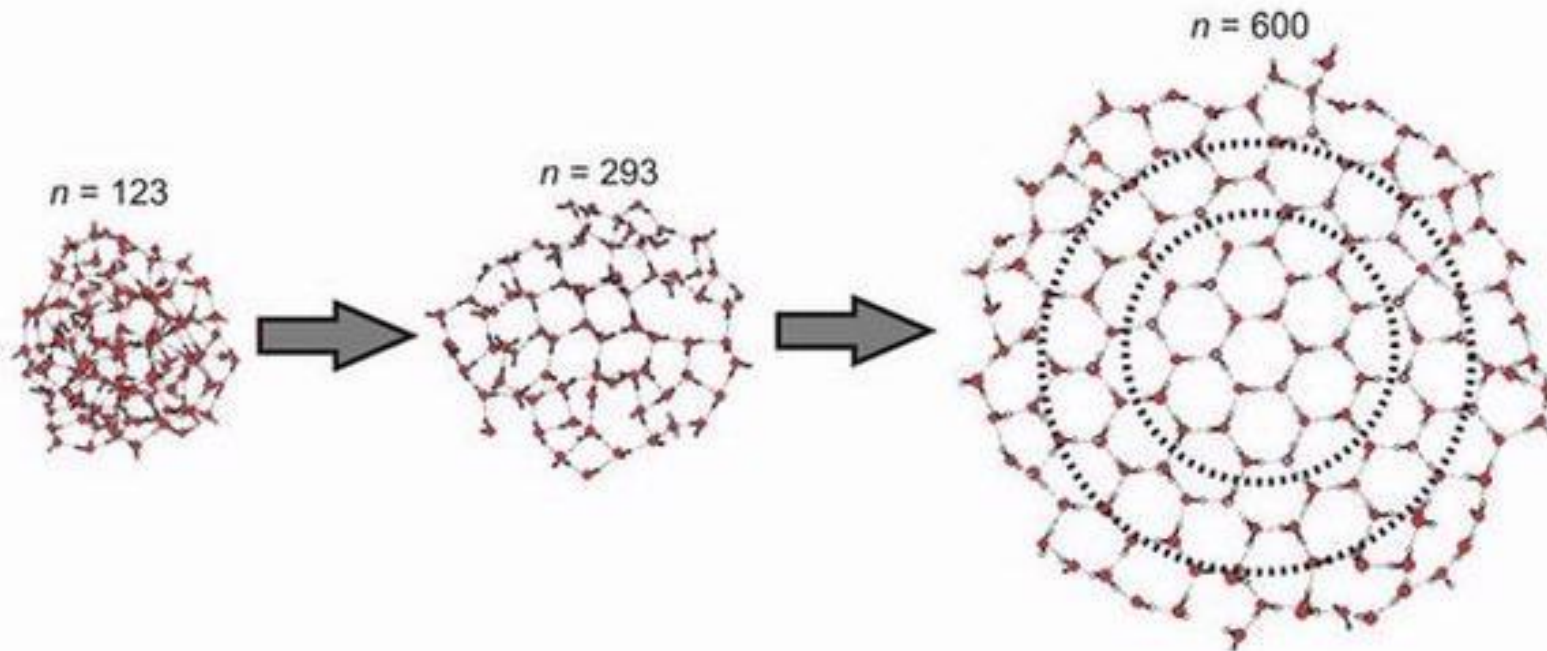
Существует в системах, построенных из положительных атомных островов, находящихся в среде свободных коллективизированных электронов - «электронного газа».

4) Молекулярная связь (связь Ван-дер-Ваальса)

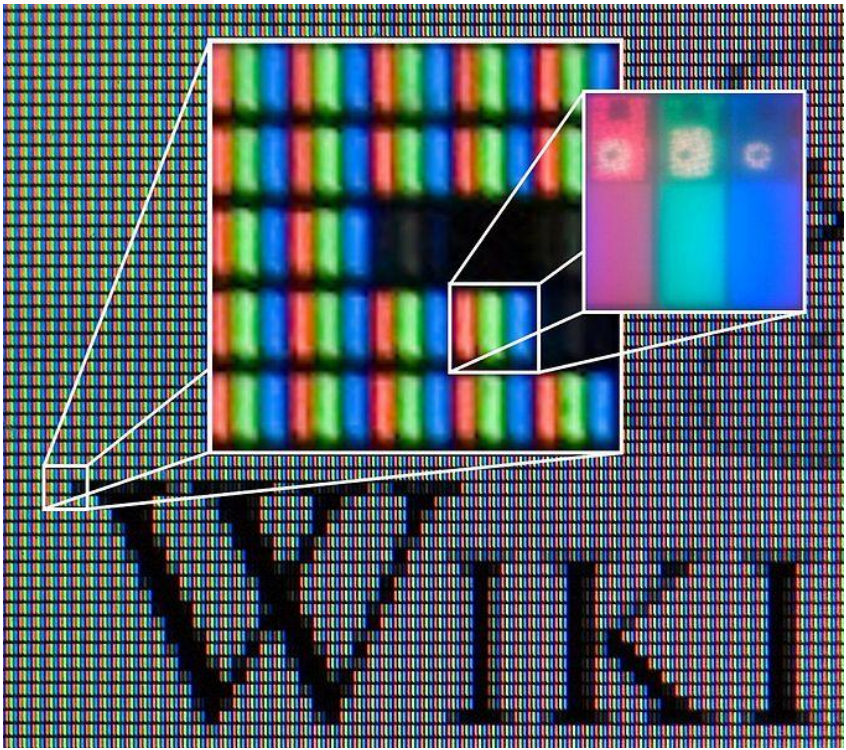
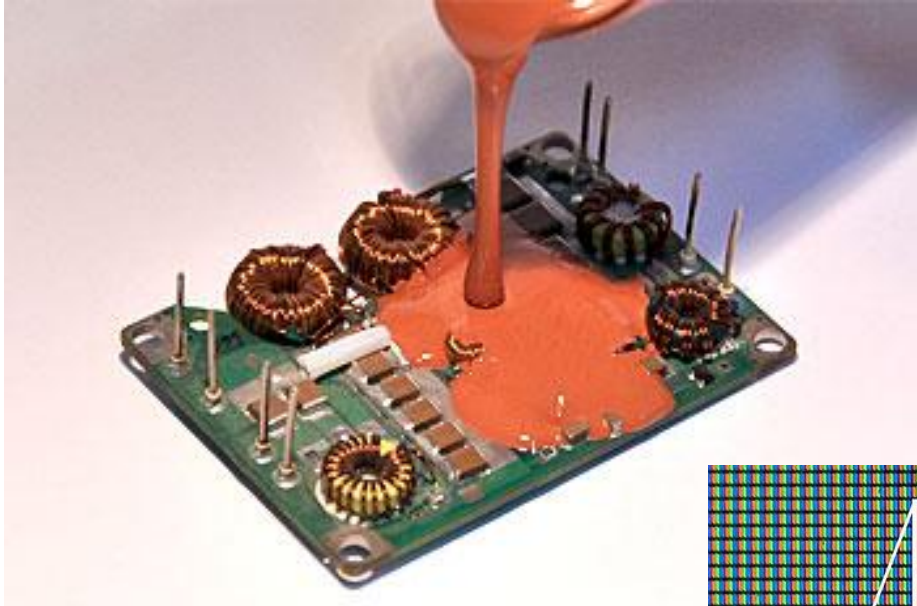


Связь между молекулами с ковалентным характером внутримолекулярного взаимодействия.

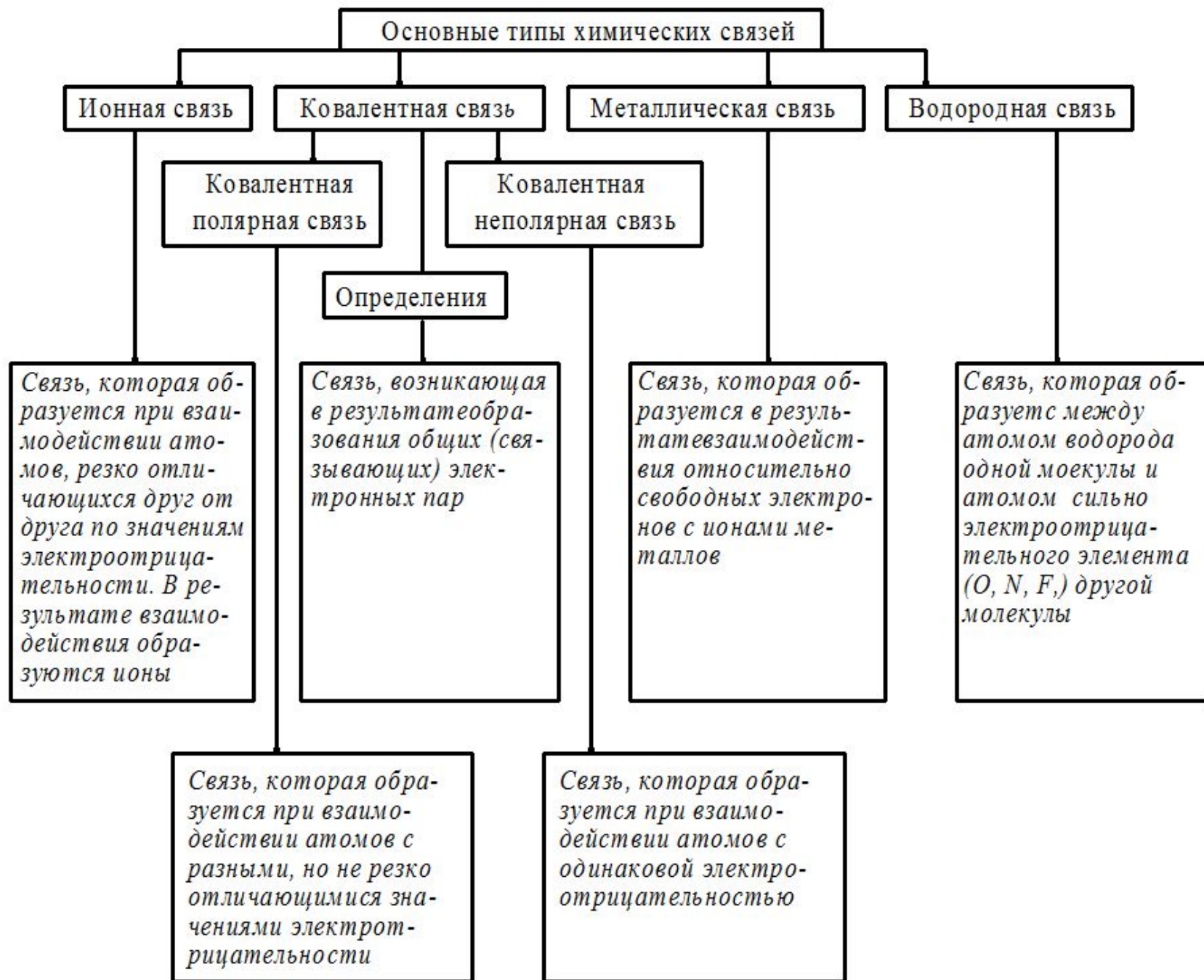
Кластеры воды с разными структурами



Парафины, компаунд



Жидкие кристаллы



Агрегатные состояния вещества

- Газообразное состояние молекул наиболее беспорядочное и структурно не устойчивое.
- Жидкое состояние вещества характеризуется определенным объемом, но не имеет постоянной формы. Жидкости изотропны, кроме жидких кристаллов, характеризующихся некоторой ориентацией молекул, т.е. анизотропией, которая проявляется в двойном лучепреломлении.

Агрегатные состояния вещества

- Твердое состояние характеризуется тремя признаками: упругостью, кристаллической структурой и скачкообразным изменением характеристик при плавлении.

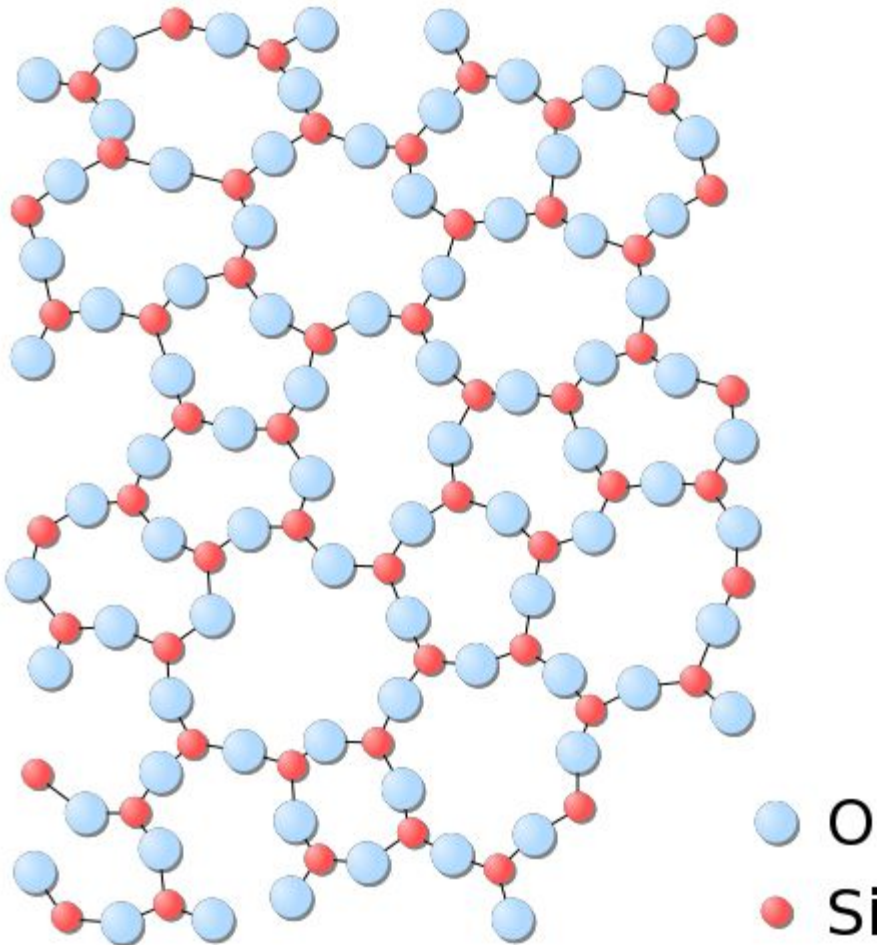
При медленном охлаждении расплава и специальном выращивании получают монокристалл; при средней скорости охлаждения – поликристаллические структуры; при очень быстром охлаждении – вещества аморфной структуры.

Типы кристаллических решеток твердых веществ

Тип кристаллической решетки	Молекулярная	Ионная	Атомная	Металлическая
Частицы, находящиеся в узлах решетки	Молекулы	Положительно и отрицательно заряженные ионы (катионы и анионы)	Атомы	Атомы и положительно заряженные ионы металлов
Характер связи между частицами кристалла	Силы межмолекулярного взаимодействия (в т.ч. водородные связи)	Электростатические ионные связи	Ковалентные связи	Металлическая связь между ионами металлов и свободными электронами
Прочность связи	Слабая	Прочная	Очень прочная	Разной прочности
Отличительные физические свойства веществ	Легкоплавкие, небольшой твердости, многие растворимы в воде	Тугоплавкие, твердые, многие растворимы в воде. Растворы и расплавы проводят электрический ток (проводники II рода)	Очень тугоплавкие, очень твердые, практически нерастворимы в воде	Разнообразны по свойствам; имеют металлический блеск; обладают электропроводностью (проводники I рода) и теплопроводностью
Примеры веществ	Йод I_2 , лед H_2O , «сухой лед» (твердый CO_2)	Хлорид натрия $NaCl$, гидроксид калия KOH , нитрат бария $Ba(NO_3)_2$	Алмаз C , кремний Si	Медь Cu , калий K , цинк Zn

2.2. Структура твердых тел

Аморфные структуры – это структуры, не имеющие явно выраженного дальнего порядка в расположении атомов.



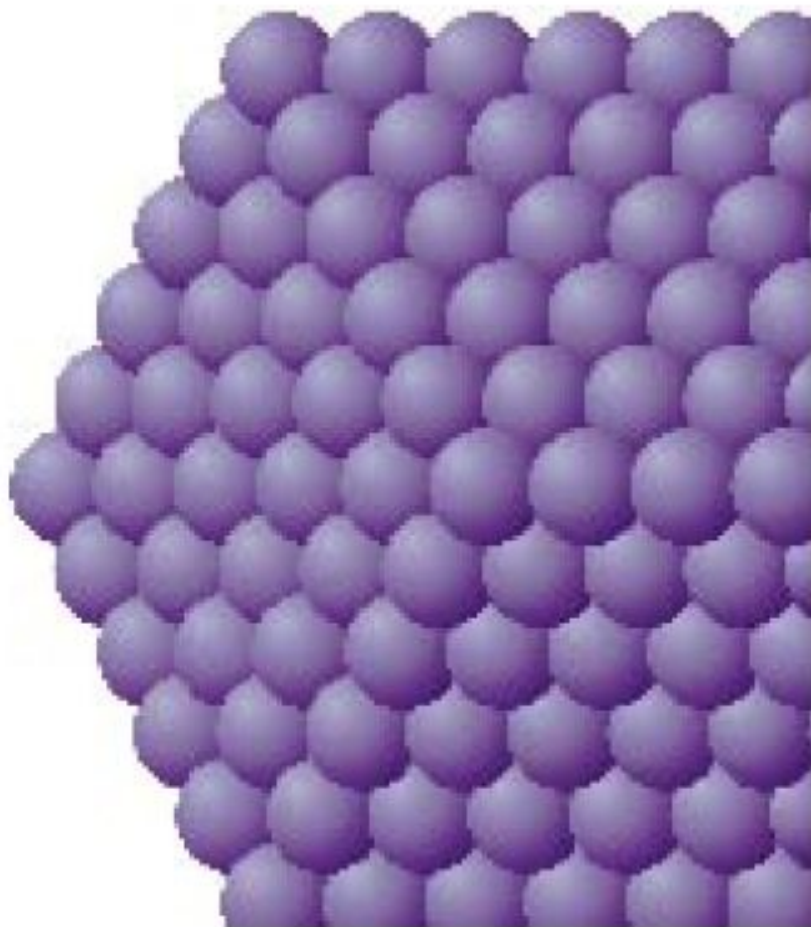
Стекло

Канифоль

**Органические
Материалы**

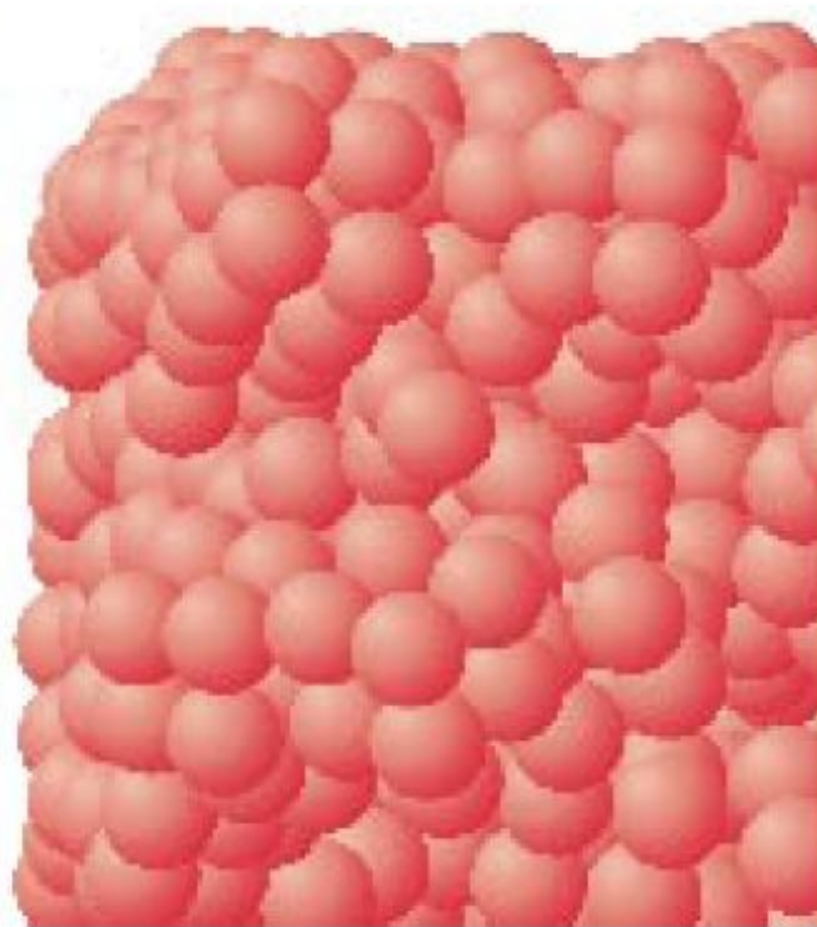
Смолы

а



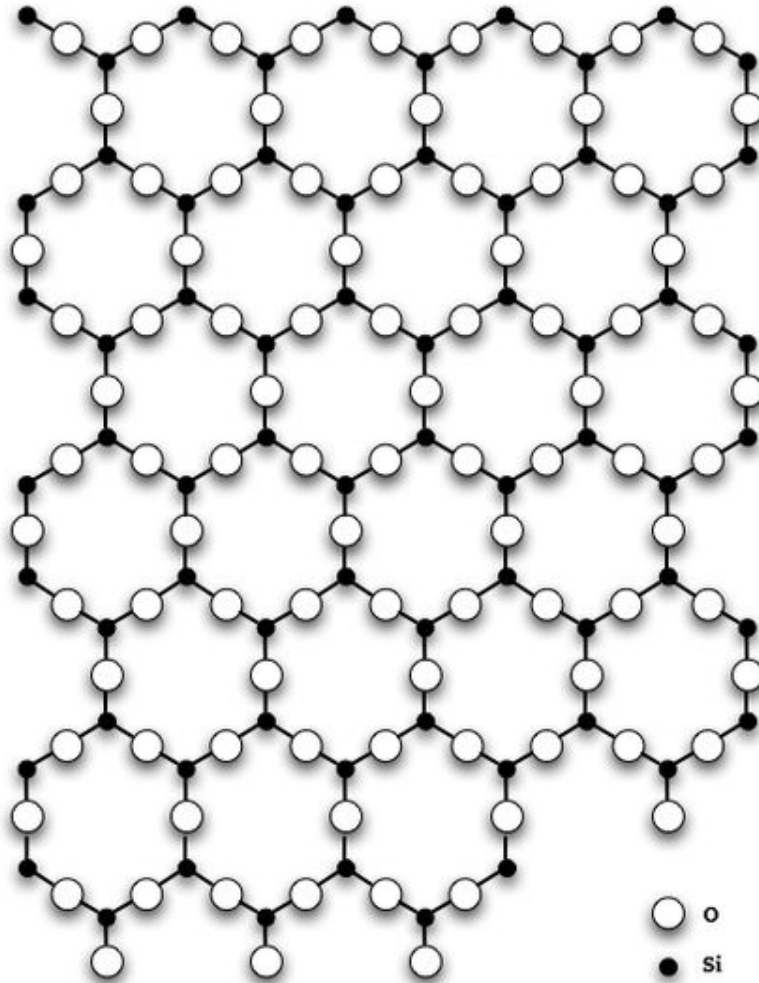
Дальний порядок

б



Ближний порядок

Кристаллические структуры – это структуры, представляющие периодическую решетку, в узлах которой расположены атомы



Кварц

**Полупроводниковые
Кристаллы**

Металлы

Монокристаллы – однородные анизотропные тела, которые характеризуются правильным порядком в расположении атомов во всем объеме и состоят из периодически повторяющихся одинаковых кристаллических ячеек.

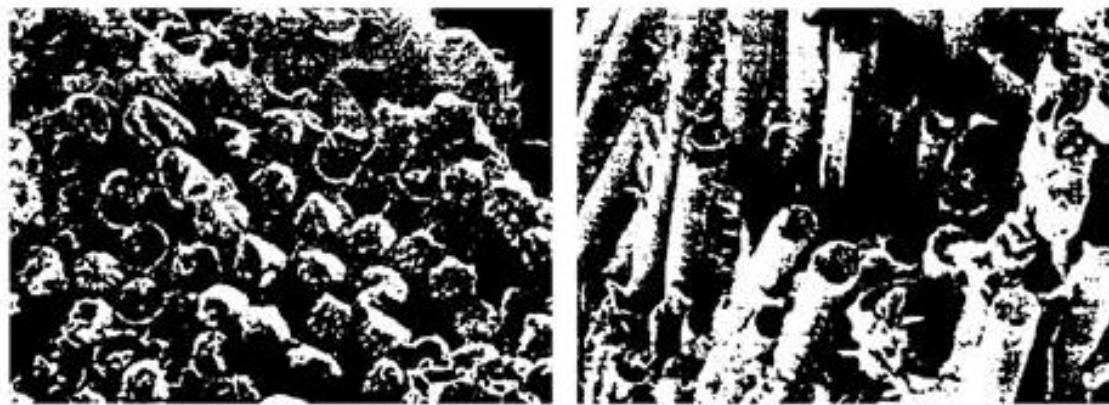
Большое промышленное значение имеют монокристаллы полупроводниковых и диэлектрических материалов, выращиваемые в специальных условиях.

Физические свойства:

- 1) Правильная геометрическая форма
- 2) Постоянная температура плавления.
- 3) Анизотропия.

Однако большинство кристаллических веществ являются поликристаллическими.

Поликристаллические материалы состоят из множества сросшихся мелких кристаллов (кристаллитов), хаотически ориентированных в разных направлениях. Обычно они изотропны.



a

б

Al, Be, Mg, Ti и др.

Физические свойства:

1) Правильная форма.

2) Постоянная температура плавления 3)

Изотропия.



электротехническая сталь



поликристаллический кремний

Если ориентацию кристаллитов упорядочить (мехобработкой металла, поляризацией сегнетокерамики), то материал становится анизотропным (такие тела называют **текстурами**).



а)

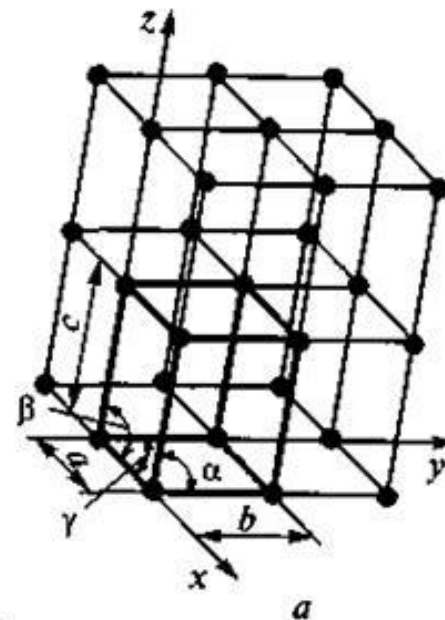
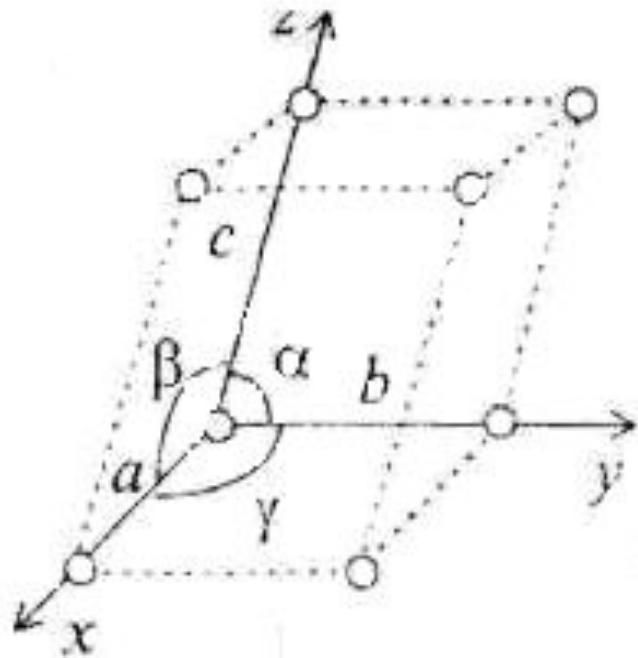


б)



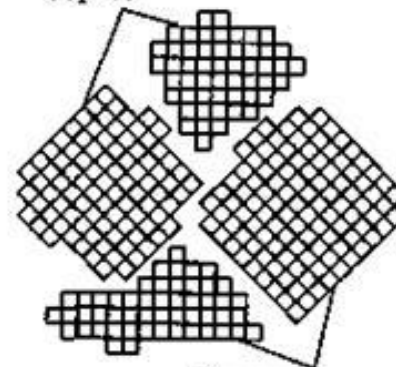
в)

Трехмерная кристаллическая структура



90

Кристаллическое
зерно



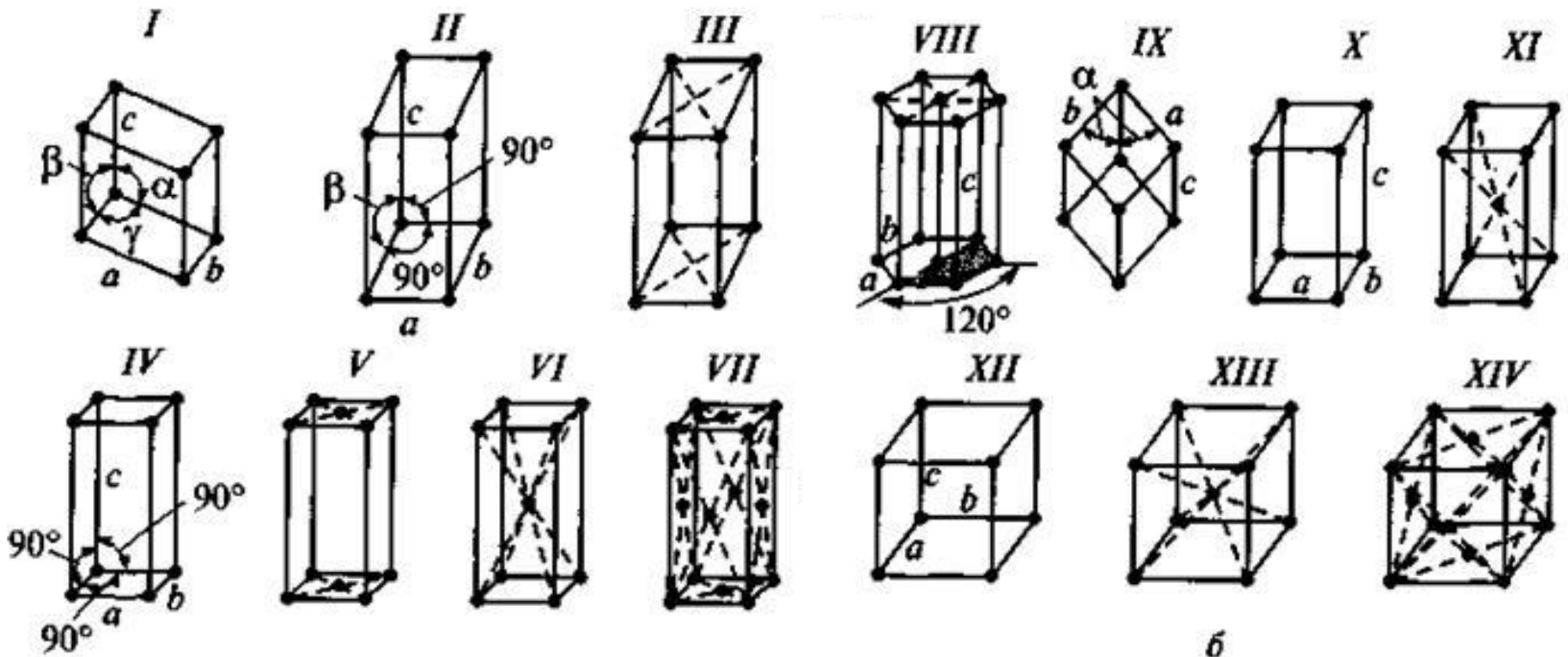
Кристаллическое
зерно

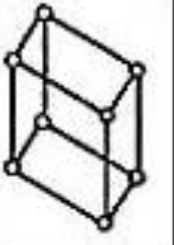
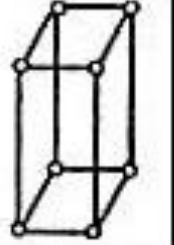
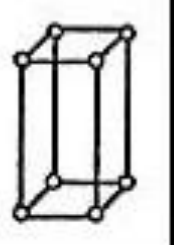
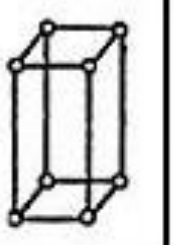
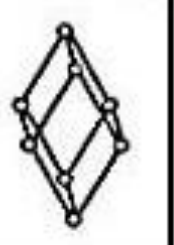
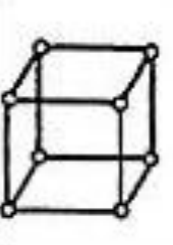
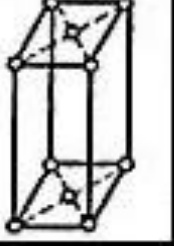
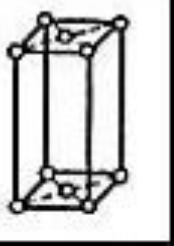
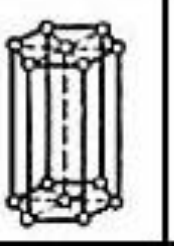
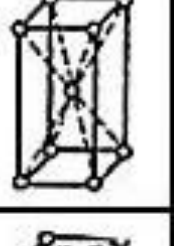
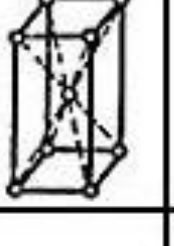
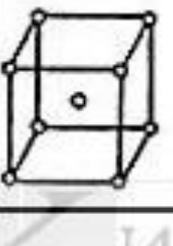
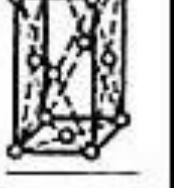

ϵ

Элементарная ячейка
- *решетка Браве.*

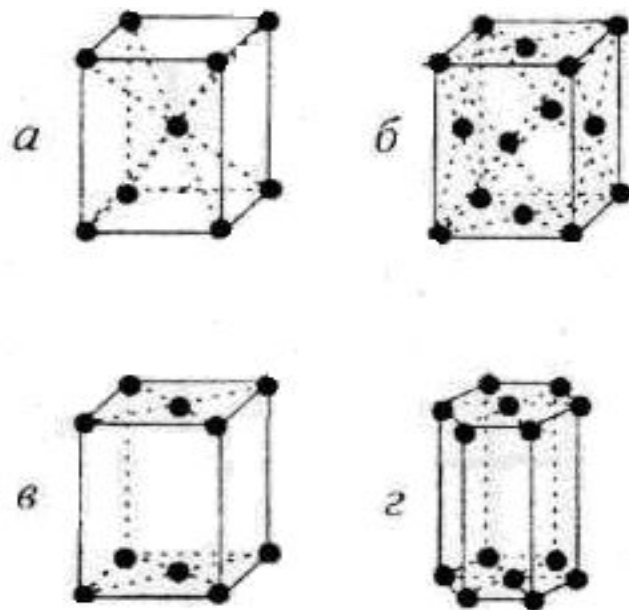
Существует четырнадцать типов решеток Браве. 7 кристаллических систем (сингоний). Системы отличаются друг от друга формой элементарной ячейки (соотношениями между длинами ребер a , b , c и углами между гранями α , β , γ).

Все кристаллы по виду симметрии подразделяют на 32 класса. Всего существует 230 пространственных групп.

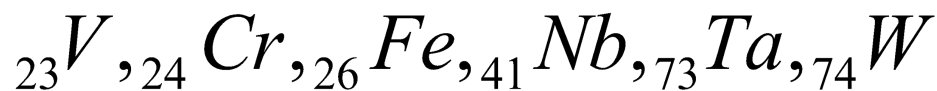


Сингония Тип решетки	Три- клинная	Моно- клинная	Ромби- ческая	Тетраго- нальная	Триго- нальная (ромбоэд- рическая)	Гексаго- нальная	Куби- ческая
Примитивный							
Базоцентри- рованный							
Объемноцен- трированный							
Гранецентри- рованный							

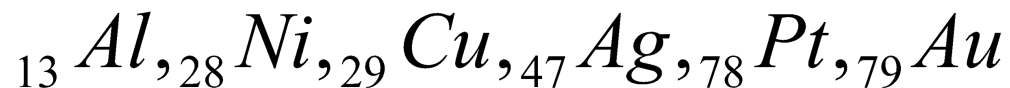
Четыре типа сложных элементарных ячеек.



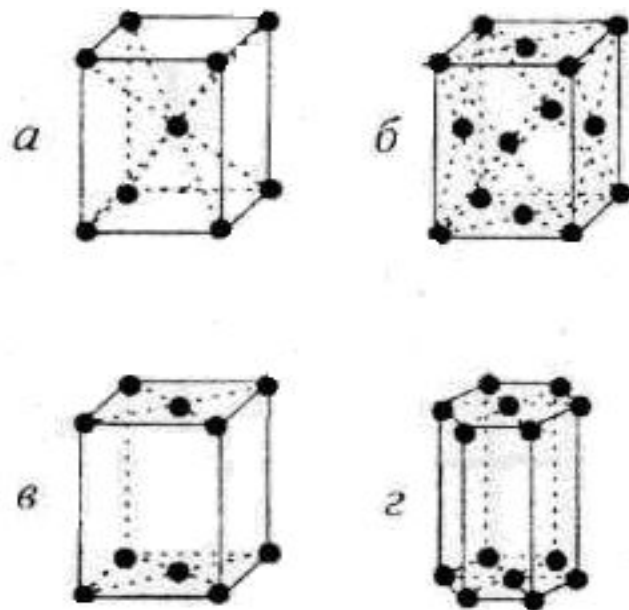
а) Объемоцентрированная (ОЦ) ячейка



б) Гранецентрированная (ГЦ) ячейка

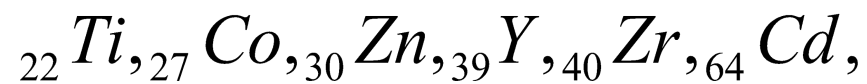


Четыре типа сложных элементарных ячеек.

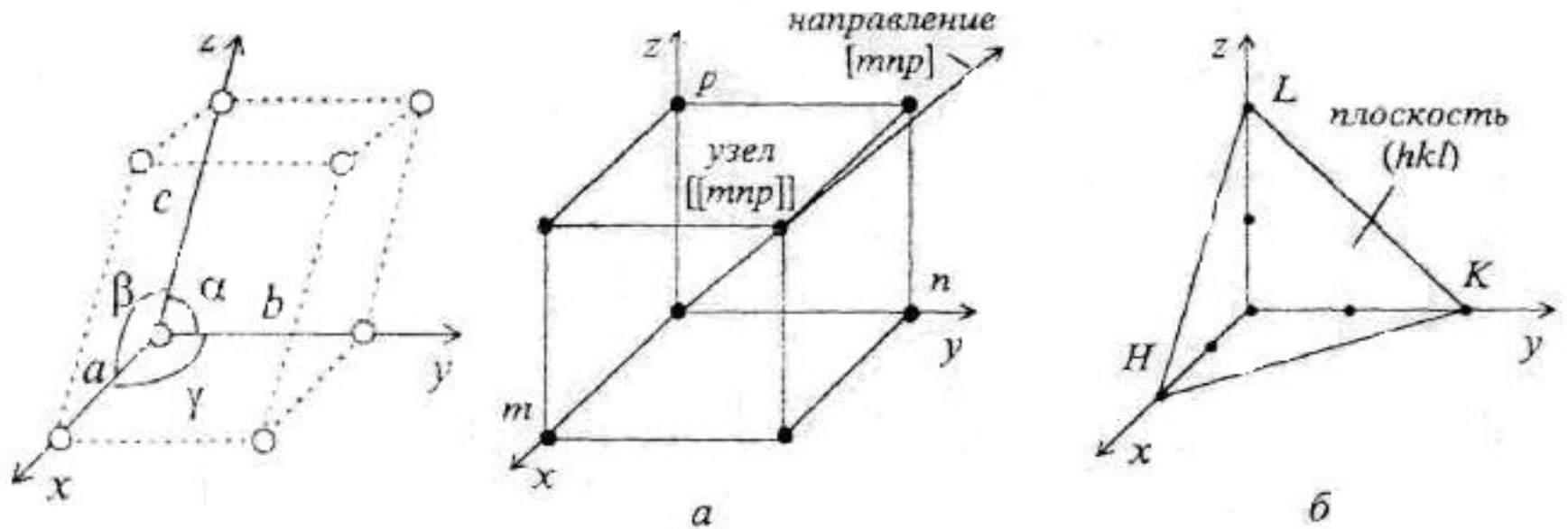


в) Базоцентрированная (БЦ) ячейка

г) Гексацентрированная ячейка



Индексы Миллера.



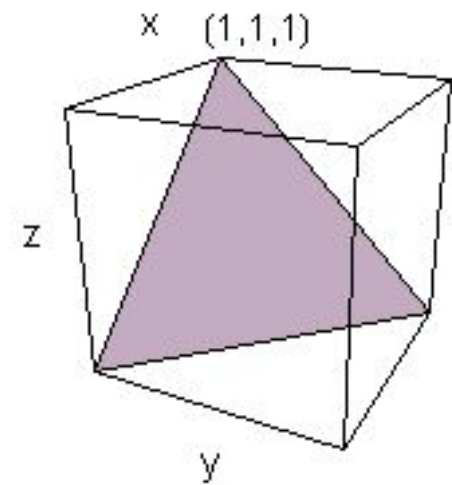
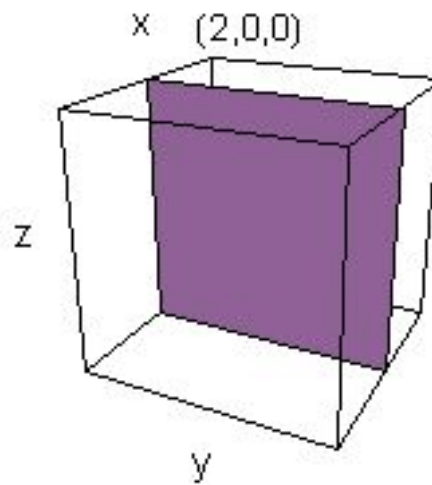
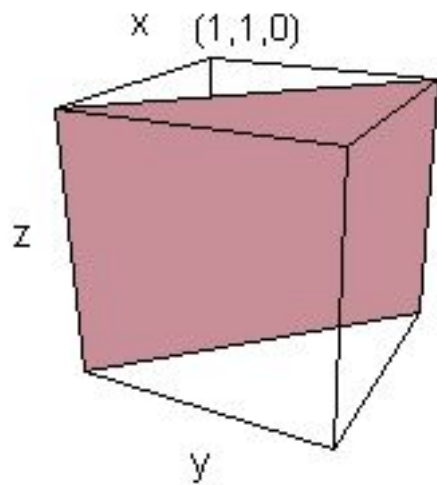
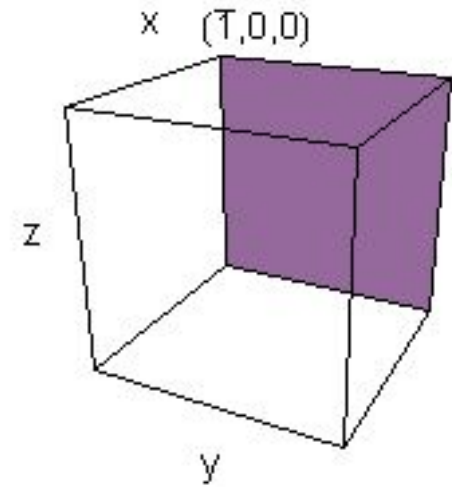
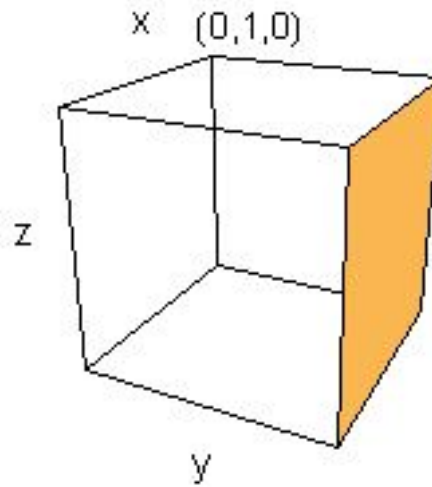
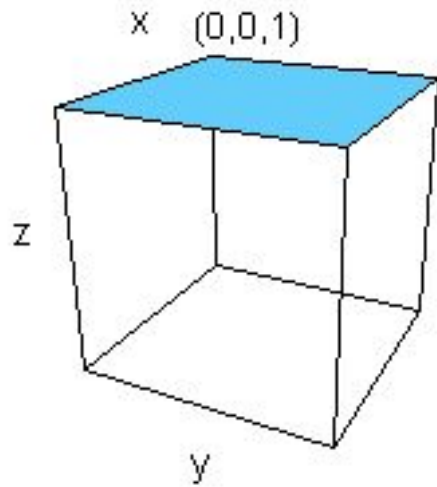
Обозначение узлов, направлений – а
и плоскостей – б к кристаллической решетке

$$x = m \cdot a, \quad y = n \cdot b, \quad z = p \cdot c,$$

m, n, p – *индексы узла*, целые или дробные числа.

Индексы плоскости $h=d/m, k=d/n, l=d/p$ через НОК= d

Индексы плоскости обозначаются как (hkl)



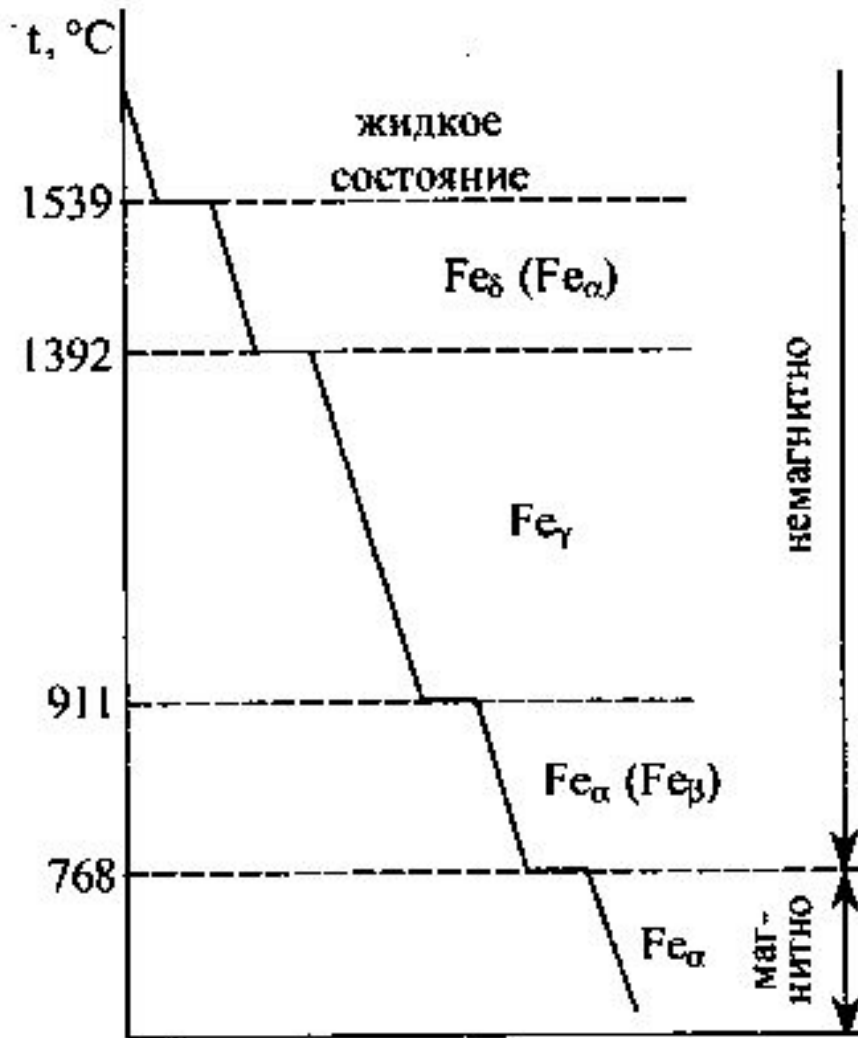
Полиморфизм (аллотропия)

это способность образовывать не одну, а две и более кристаллические структуры, устойчивые при различных температурах и давлениях.

Модификация, устойчивую при нормальной и более низкой температуре обозначается α

Кристаллические структуры называют *полиморфными формами* или *аллотропными модификациями вещества*.

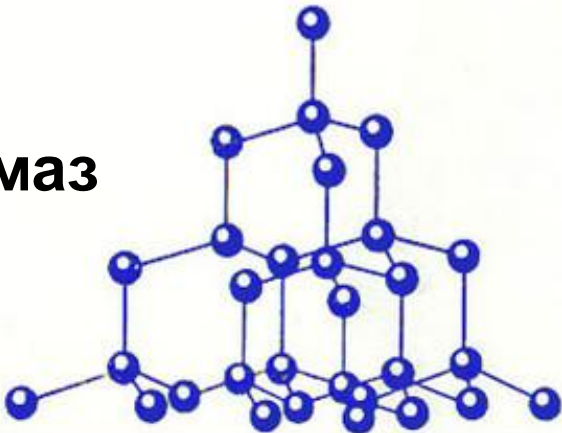
Кривая охлаждения железа Fe



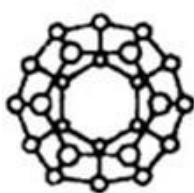
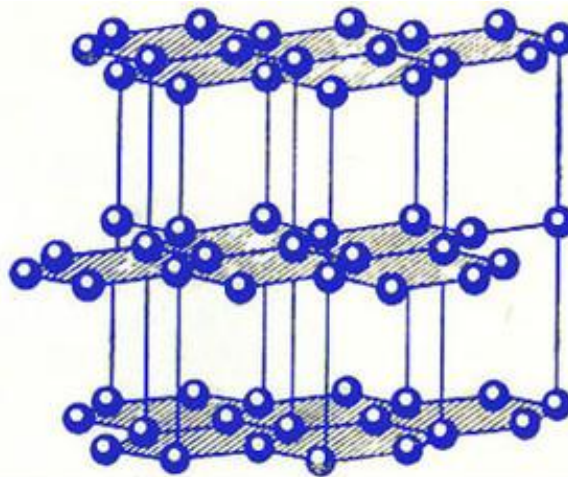
$\alpha\text{-Fe}$, $\beta\text{-Fe}$, $\gamma\text{-Fe}$

Полиморфизм углерода С

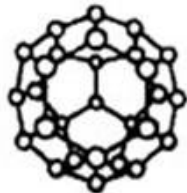
Алмаз



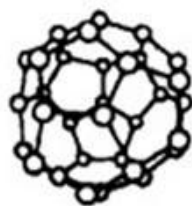
Графит



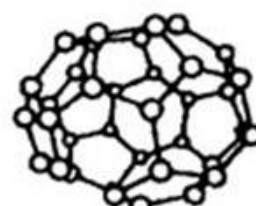
C₂₄



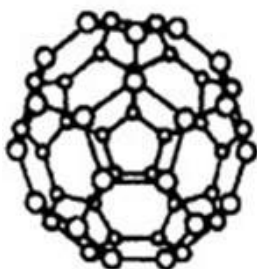
C₂₈



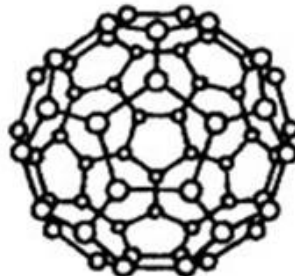
C₃₂



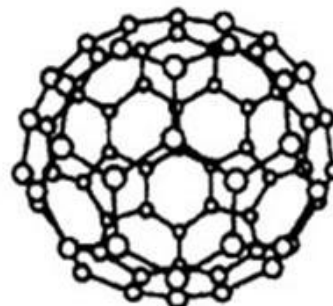
C₃₆



C₅₀



C₆₀



C₇₀

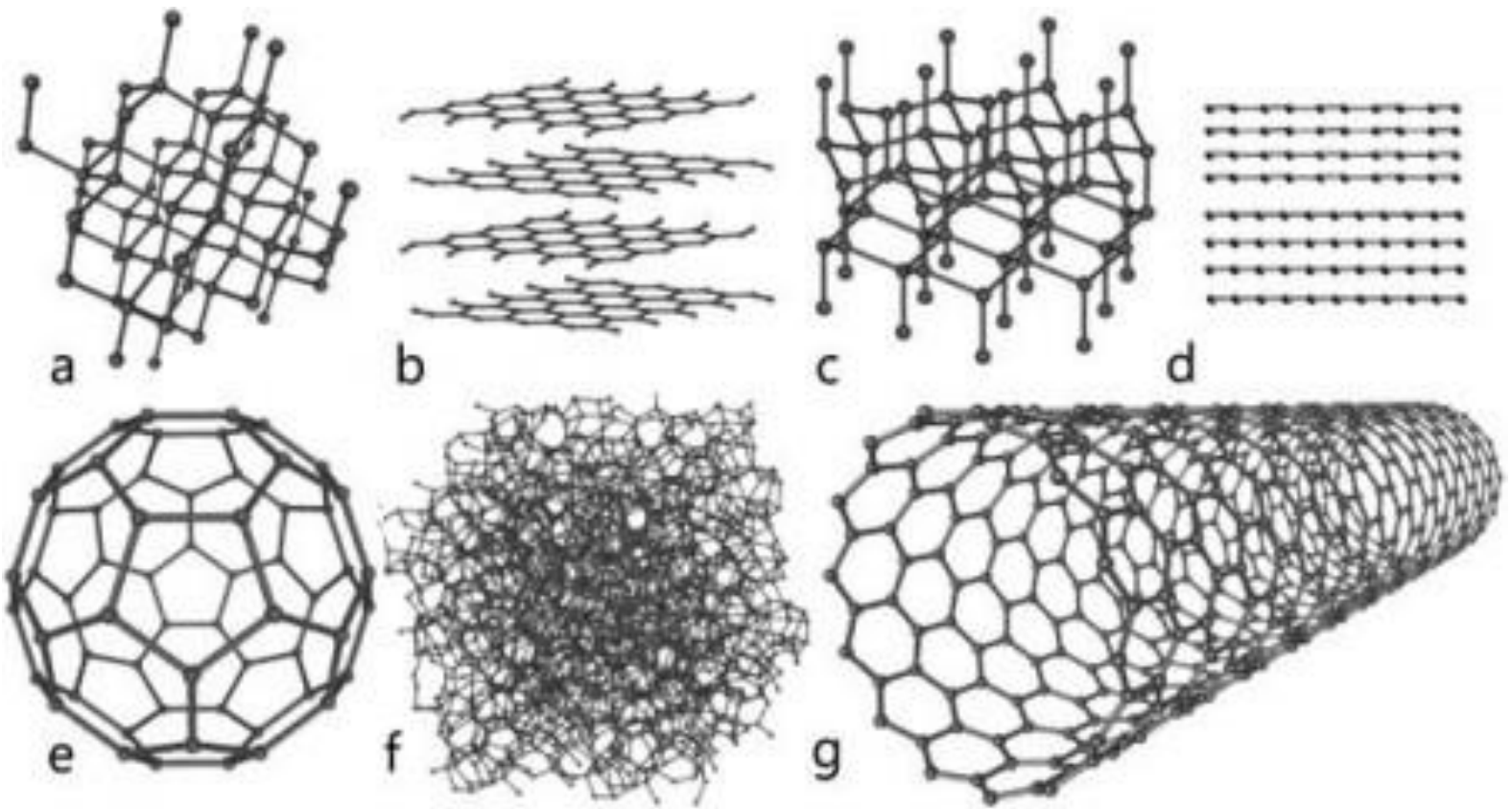
Фуллерен

Полиморфизм углерода

	алмаз	графит	фуллерен
строение	Атомная кубическая решетка, ковалентная неполярная связь	Слоистое строение, внутри слоя – ковалентная неполярная связь, между слоями – межмолекулярное взаимодействие	C ₆₀ , C ₇₀ , молекулы образуют сферу
свойства	Твердость	Хорошо проводит электрический ток, тугоплавкий, оказывает смазывающее действие	Химически стойкий, твердый
применение	Алмазные резцы, напильники...	Электроды, ракетные двигатели, узлы трения...	Сверхтвердые материалы

Полиморфизм углерода

карбин



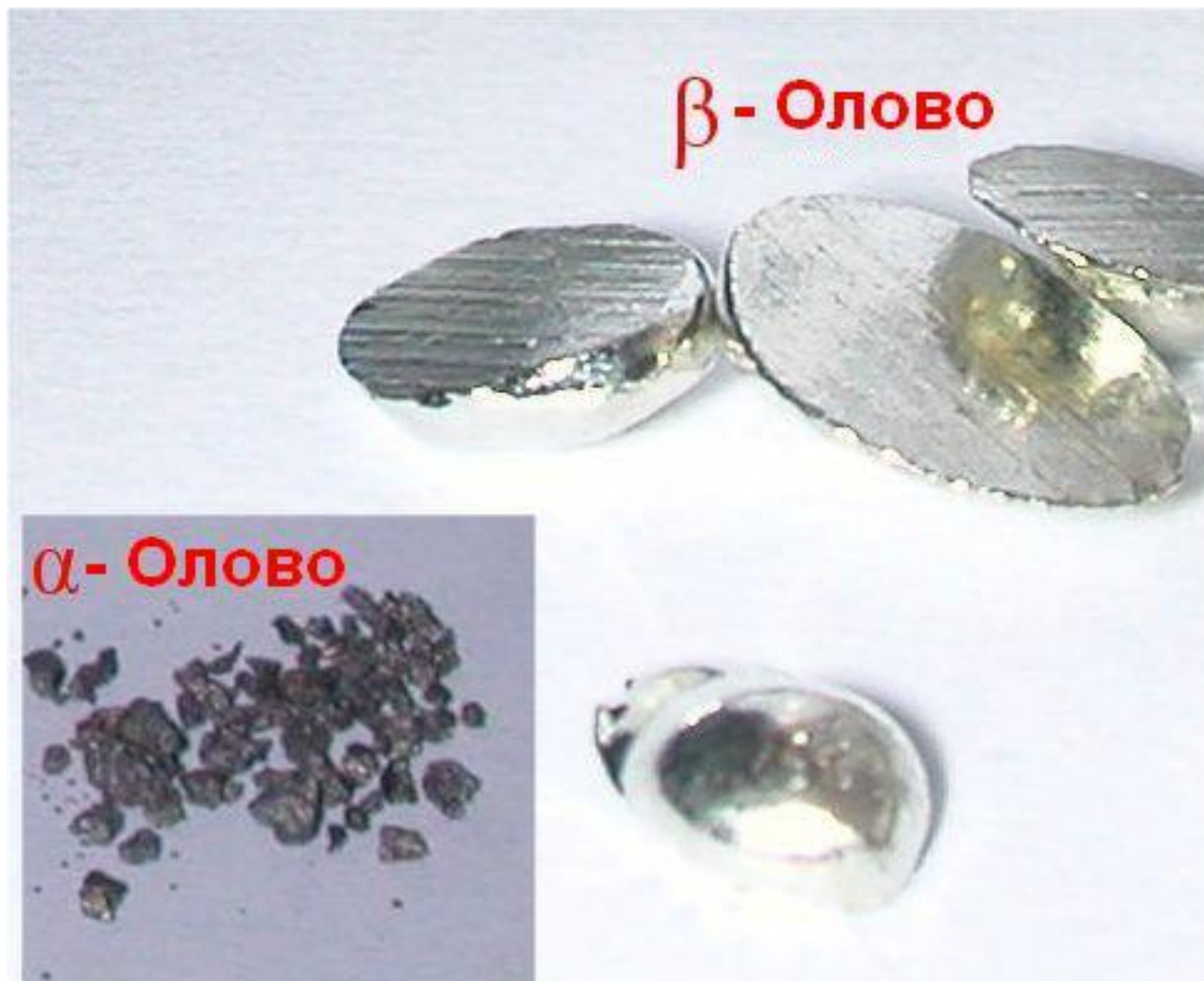
нановолокно

нанотрубка

Полиморфизм кремния Si



Полиморфизм олова Sn



$T < 13,2 \text{ } ^\circ\text{C}$

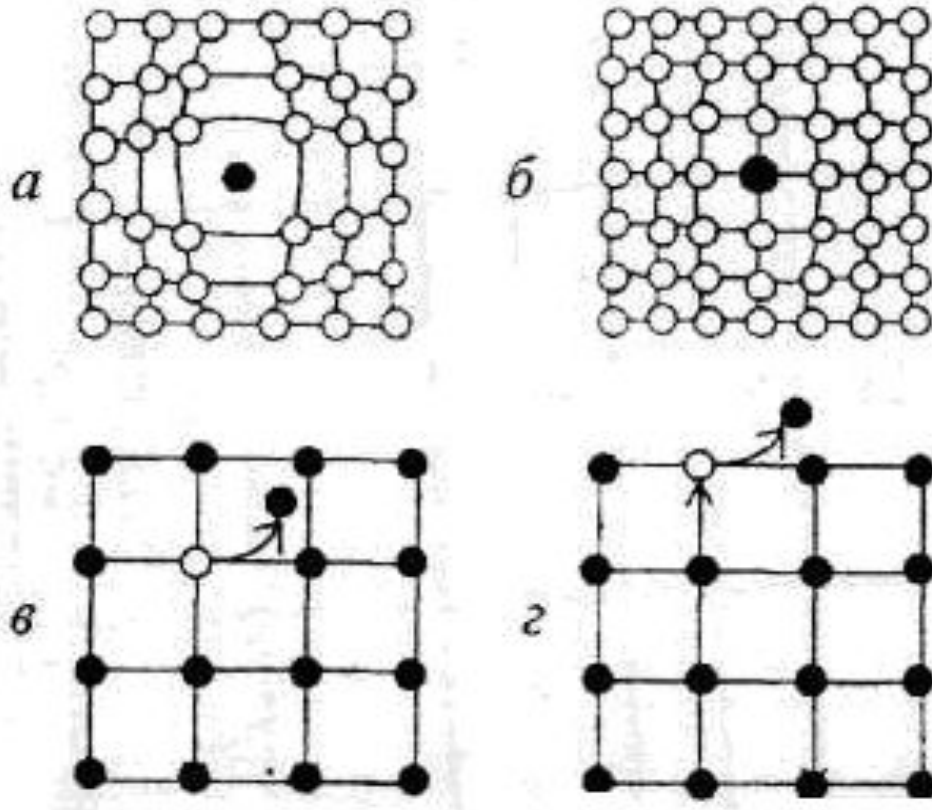
2.3. Структурные дефекты твердых тел.

Дефекты – отклонения от регулярного расположения частиц в реальных кристаллах.

1) **Динамические** (временные) **д.** возникают при механических, тепловых (фононы) и электромагнитных воздействиях.

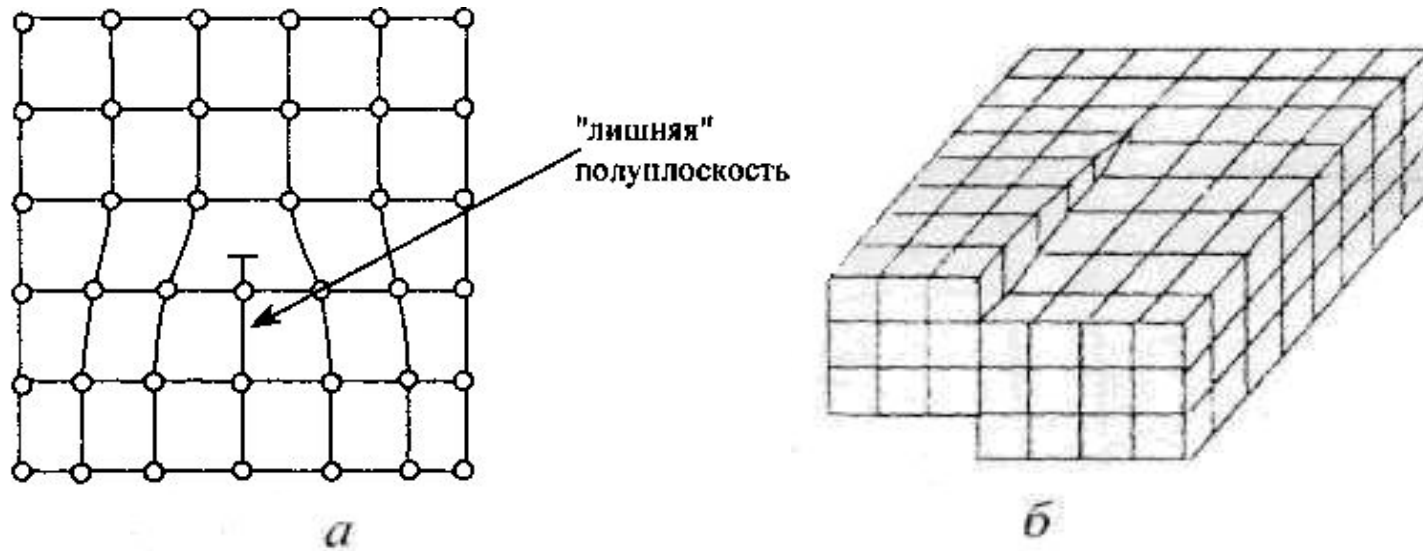
2) **Статические** (постоянные) **д.** это точечные (атомные) или протяженные несовершенства структуры

Точечные дефекты твердых тел.



- а – дефекты типа внедрения;
- б – дефекты типа замещения;
- в – дефекты по Френкелю;
- г – дефекты по Шоттки

Линейные дефекты твердых тел.

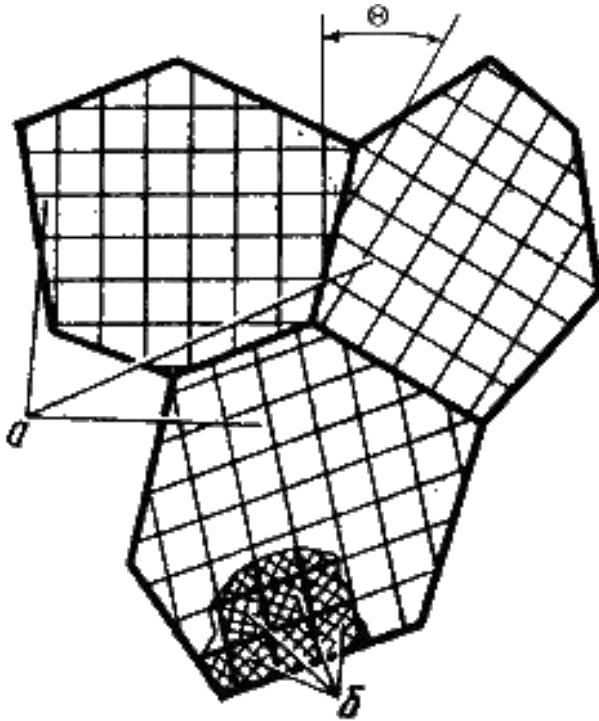


a – линейная дислокация; *б* – винтовая дислокация

Дислокация – это линейный дефект, заключающийся в смещении плоскостей кристаллической решетки относительно друг друга

Поверхностные дефекты твердых тел.

Ошибки в наложении слоев атомов



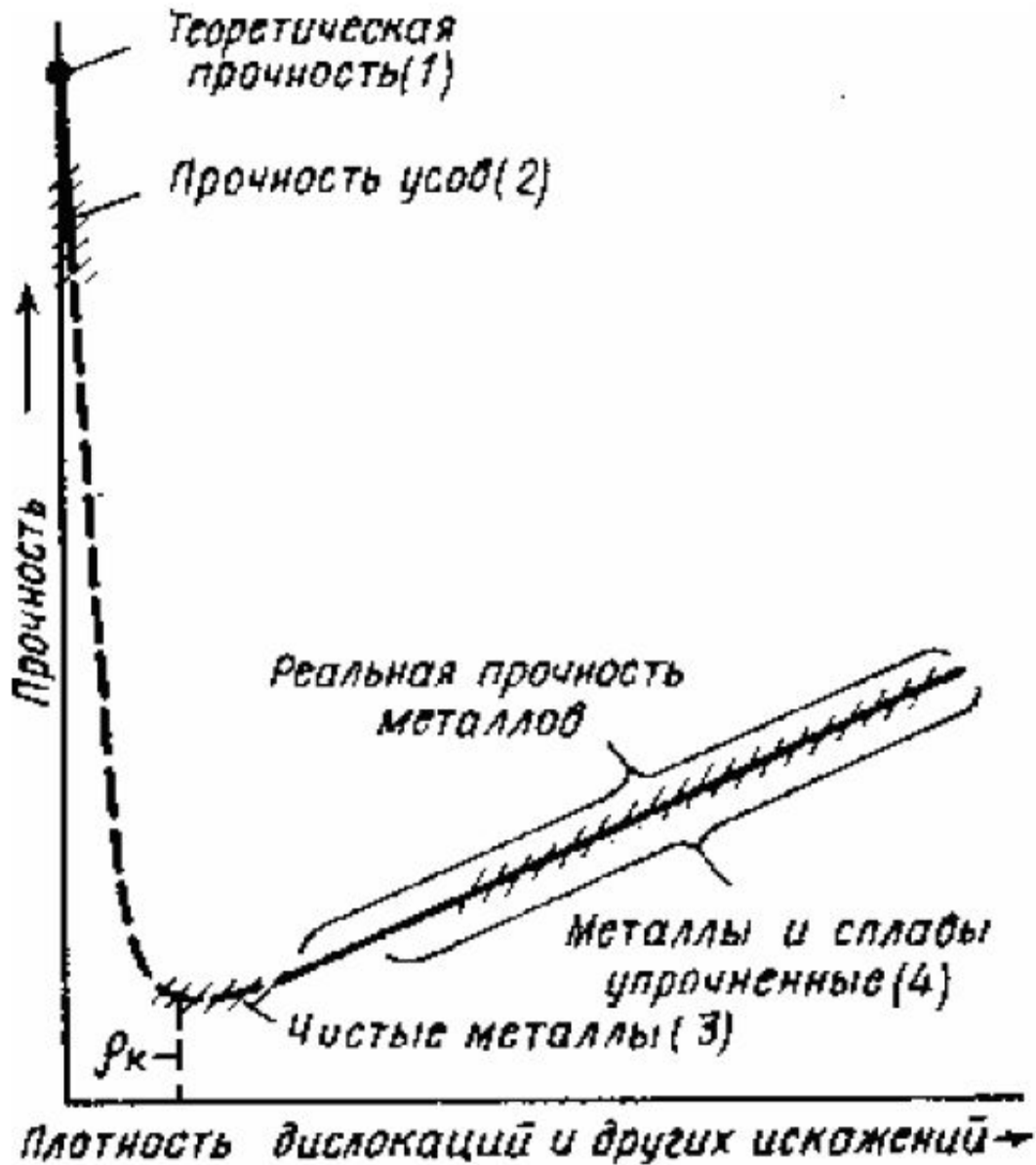
Поверхностная зона 5 – 10 атомных диаметров с максимальным нарушением порядка в расположении атомов.

Объемные дефекты твердых тел.

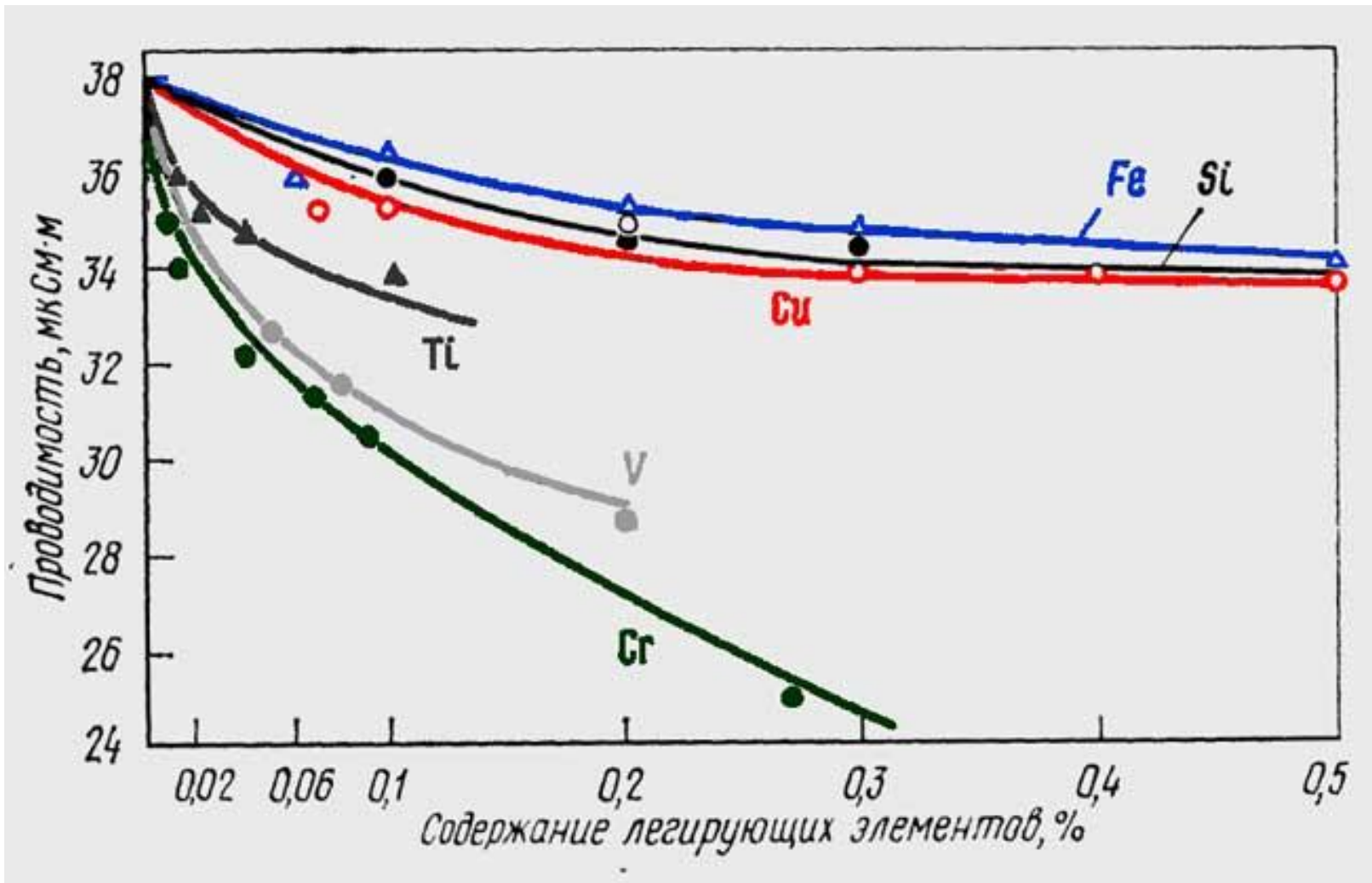
Имеют в трех измерениях сравнительно большие размеры несопоставимые с размерами атомов.

К ним относят микропустоты, включения другой фазы, поры, трещины.

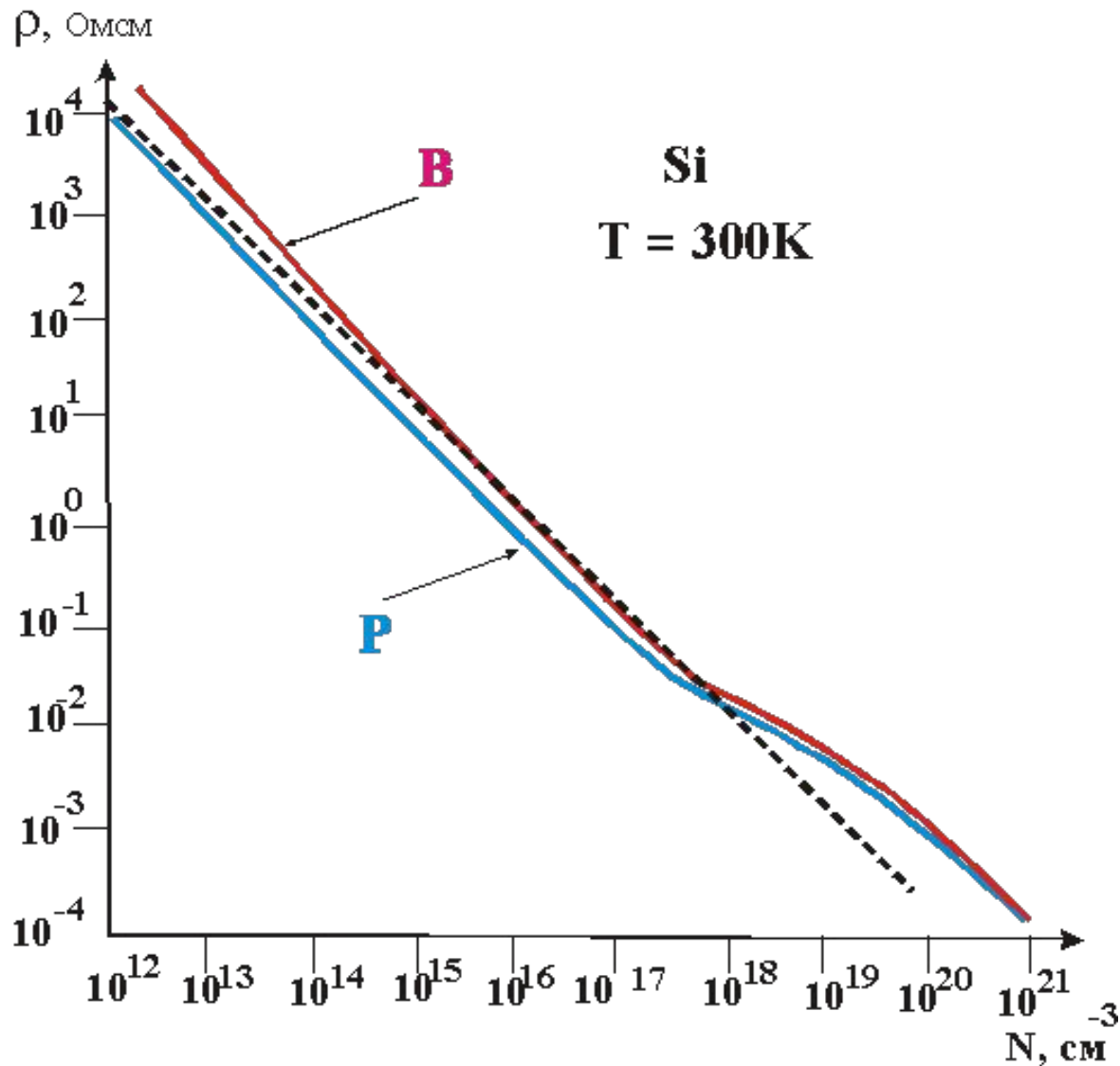
Зависимость прочности σ_e от плотности дислокаций



Влияние примесей на проводимость Me



Влияние примесей на удельное сопротивление очищенного кремния





Спасибо за внимание!

