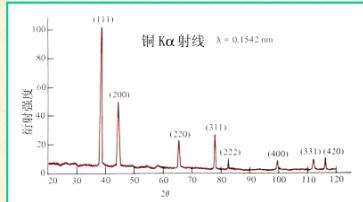


## 第二章 固体材料的结构

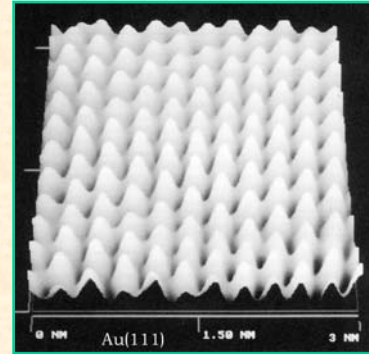
固体材料的各种性质主要取决于它的晶体结构。原子之间的作用力——结合键与晶体结构密切相关。通过研究固体材料的结构可以最直接、最有效地确定结合键的类型和特征。

固体材料主要包括：**金属、合金、非金属、离子晶体、陶瓷**

研究方法：**X光、电子、中子衍射——最重要、应用最多**



利用扫描隧道显微镜已可以直接观察晶体表面的原子排列情况



### § 2-1 结合键

结合键——原子结合成分子或固体的**方式**和结合力的**大小**。

**结合键决定了物质的物理、化学、力学性质。**

一切原子之间的结合力都起源于原子核与电子间的静电交互作用（库仑力）。不同的结合键代表了实现8电子层结构（稳定电子结构）的不同方式。

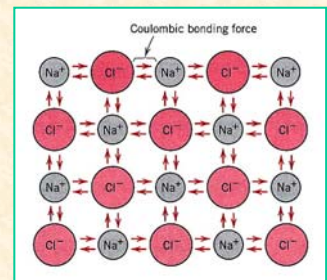
#### 一、离子键

典型的金属与典型的非金属元素就是通过离子键而化合的。从而形成**离子化合物或离子晶体**。

典型的例子：NaCl

**特点：**离子键的结合能最大，非方向键。离子晶体配位数高，不能发生塑性变形，属于脆性晶体。低温不导电，高温（熔融）离子导电。

结合能的大小反映在熔点的高低：结合能越大，熔点越高。



Li Cl结合能：8.63eV/mol,  
NaCl结合能：7.94eV/mol, **熔点：801° C**  
KCl结合能：7.20eV/mol,  
RbCl结合能：6.90eV/mol,  
MgO结合能：10.36eV/mol, **熔点：2800° C**

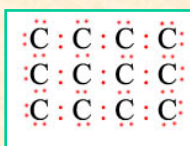
#### 二、共价键

Java动画

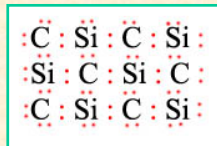
同族元素的原子形成分子或晶体就是共价键方式结合。

如： $H_2$ ,  $O_2$ ,  $F_2$ , 金刚石, SiC等

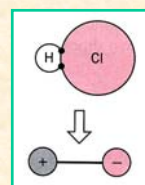
**特点：**结合能大，空间方向键。



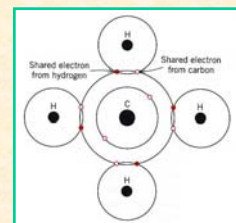
金刚石的共价键示意图



SiC的共价键示意图



极性共价键



非极性共价键

金刚石的结合能：7.37eV/mol, **熔点：>3350° C**  
Si : 4.68eV/mol, **熔点：1410° C**  
Ge : 3.87eV/mol, **熔点：837° C**  
Sn : 3.14eV/mol, **熔点：232° C**

### 三、金属键

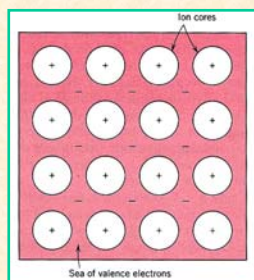
价电子（自由电子）形成电子气，象万能胶一样将金属正离子粘（吸引）在一起。

**特点：**无方向性，无饱和性，

结合力很强。

金属晶体发生塑性变形时，不会破坏金属键。因此，金属具有良好的延展性（塑性）。这是金属被广泛使用的重要原因。

自由电子使金属具有良好的导电性、导热性。



金属键的结合能与金属的熔点：

Hg: 结合能: 0.69eV/mol, 熔点: -39°C

Al: 结合能: 3.34eV/mol, 熔点: 660°C

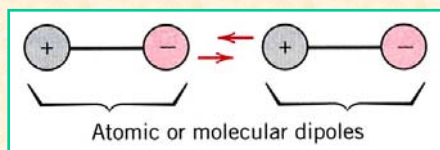
Fe: 结合能: 4.20eV/mol, 熔点: 1538°C

W: 结合能: 8.80eV/mol, 熔点: 3410°C

金属键的结合能越大，金属的熔点越高。

### 四、分子键 又称为范德瓦尔斯（Van de Waals）键

**特点：**分子键最弱。极性分子之间存在库仑力，有些非极性分子靠近时会诱导极性，使分子之间有结合力。



如:  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO$ ,  $Cl_2$ ,  $Br_2$ ,  $I_2$ 等

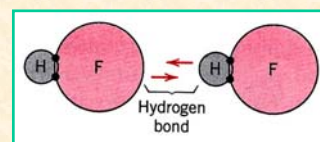
正因为分子键的存在，才会出现常温为气体，低温为液体或固体的现象。

Ar: 结合能: 0.078eV/mol, 熔点: -189°C, 沸点: -186°C

$Cl_2$ : 结合能: 0.321eV/mol, 熔点: -101°C, 沸点: -34°C

### 五、氢键

含有氢的分子都是通过极性共价键结合，极性分子之间结合成晶体时，通过氢键结合。



例如:  $H_2O$ ,  $HF$ ,  $NH_3$ 等

$NH_3$ : 结合能: 0.36 eV/mol, 熔点: -78°C

$H_2O$ : 结合能: 0.52 eV/mol, 熔点: -0°C

需要指出的是，实际晶体不一定只有一种键，至少分子键就普遍存在，但在有某种主键的情况下，其他键可以忽略。

清华教材, P.63 表2-3 各种结合键的比较

## § 2-2 金属原子间的结合能

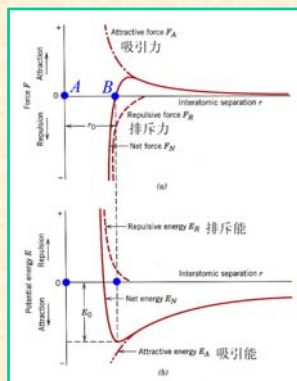
### 一、原子作用模型

固态金属相邻二个原子之间存在两种相互作用：

a) 相互吸引——自由电子吸引金属正离子，**长程力**；

b) 相互排斥——金属正离子之间的相互排斥，**短程力**。

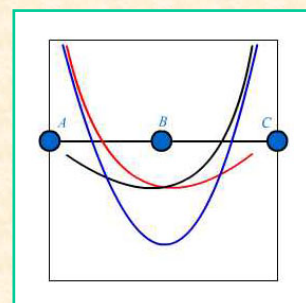
平衡时这二个力相互抵消，原子受力为0，原子处于能量最低状态。此时原子间的距离为 $r_0$ 。



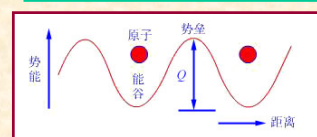
### 三原子作用模型

三原子作用模型考虑了B原子同时受到两侧A、C原子的共同作用。此时，B原子处于一个对称的势能谷中，能量更低了。

能谷的深浅反映出了原子结合的强弱。能谷越深，则结合能越大，金属键越强。



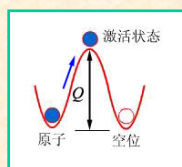
### 固态金属中的周期势场



实际金属晶体中的原子不只受一个或二个原子的作用，而是在周围的空间有许多相邻的原子，因此**每一个原子都处于周围原子共同形成的能谷中**。

## 二、激活能

由于势垒的阻碍作用，相邻的原子不会合并一处，也很难迁移。但是，在足够高的温度下，固态金属中的原子可以改变位置（发生迁移）。条件是，原子必须获得足够高的能量  $Q$ （**激活能**），才能够越过势垒，跳入相邻的能谷中。



原子结合越牢固，势垒则越高，激活能越大，原子越不容易跃迁换位。

## § 2-3 合金相结构

### 基本概念

- ◆ **合金**——由两种或两种以上的金属或金属非金属元素通过化学键结合而组成的具有金属特性的材料。
- ◆ **组元、元**——组成合金的元素。
- ◆ **相**——具有相同的成分或连续变化、结构和性能的区域。
- ◆ **组织**——合金发生转变（反应）的结果，可以包含若干个不同的相，一般只有一到二个相。

### ◆ 合金成分表示法：

(1) 重量（质量）百分数

$$C_{wB} = \frac{m_B}{m_A + m_B} \times 100\%$$

**A-B二元合金为例**

$m_B$ ——元素B的重量(质量)

$m_A$ ——元素A的重量(质量)

(2) 原子(mol)百分数

$$C_{aB} = \frac{n_B}{n_A + n_B} \times 100\%$$

$n_B$ ——元素B的原子数

$n_A$ ——元素A的原子数

$m$ ——合金中某元素的质量(g)

$M$ ——某元素的原子(mol质量)量(g)

$N_A$ ——阿伏加得罗常数  $6.02 \times 10^{23}$

$$n = \frac{m}{M} \cdot N_A$$

(3) 互换关系

$$C_{ai} = \frac{C_{wi}/M_i}{\sum_{j=1}^n C_{wj}/M_j}$$

$C_{ai}$ ——i元素的原子分数

$C_{wi}$ ——i元素的质量分数

$M_i$ ——i元素的mol质量(g)

$$C_{wi} = \frac{M_i C_{ai}}{\sum_{j=1}^n M_j C_{aj}}$$

合金中的相分为：**固溶体**，**化合物**两大类。

### 固溶体

金属晶体(**溶剂**)中溶入了其它元素(**溶质**)后，就称为固溶体。

### 一、固溶体的分类：

- ◆ 按溶质原子在溶剂中的位置分为：  
**置换固溶体**，**间隙固溶体**
- ◆ 按溶解度分为：  
**有限固溶体**，**无限固溶体**
- ◆ 按溶质原子在溶剂中的分布规律分为：  
**有序固溶体**，**无序固溶体**

## 二、影响置换固溶体溶解度的因素

### 1. 晶体结构因素

**类型相同，溶解度大。**

当原子半径相近时，甚至可以无限互溶。如Cu-Ni合金。

### 2. 原子尺寸因素

**溶剂、溶质原子尺寸差别越小，溶解度越大。**

### 3. 电负性因素

溶剂、溶质原子的电负性相差越大，化学亲和力越大，溶解度越小。因为容易形成化合物。

## 4. 电子浓度因素

**电子浓度**——合金中价电子数与原子数之比。

$$\frac{e}{a} = \frac{A(100 - C_{aB}) + B C_{aB}}{100}$$

$A, B$ ——分别为溶剂、溶质原子的原子价

$C_{aB}$ ——溶质的原子百分数

溶质的原子价越高，溶解度  $C_{aB}$  越

低。  
固溶体的电子浓度有极限值，对于FCC的溶剂约为1.4。



### 三、影响间隙固溶体溶解度的因素

#### 1、溶质原子尺寸因素

由于间隙固溶体的溶质原子存在于溶剂晶体的间隙中，所以只有几种小原子( $r < 1\text{\AA}$ )才有可能形成间隙固溶：

**H**(0.46  $\text{\AA}$ ), **O**(0.60  $\text{\AA}$ ), **N**(0.71  $\text{\AA}$ ), **C**(0.77  $\text{\AA}$ ), **B**(0.97  $\text{\AA}$ )

#### 2、溶剂的晶体结构——间隙大小

间隙越大，溶解度越高。

**$\gamma$ -Fe(FCC)**：八面体间隙  $r_x = 0.414r_{\gamma\text{-Fe}} = 0.535\text{\AA}$

**$\alpha$ -Fe(BCC)**：八面体间隙  $r_x = 0.155r_{\alpha\text{-Fe}} = 0.192\text{\AA}$

$r_{\gamma\text{-Fe}} = 1.293\text{\AA}$  (1148°C)

$r_{\alpha\text{-Fe}} = 1.252\text{\AA}$  (720°C)

**$\gamma$ -Fe(FCC)**：溶解C 2.11% 最大值 (1140°C)

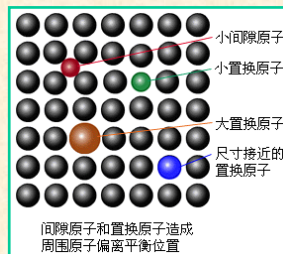
**$\alpha$ -Fe(BCC)**：溶解C 0.0218% 最大值 (720°C)

### 四、固溶体的晶格畸变

• 无论是间隙固溶还是置换固溶，溶质原子都会造成溶剂的晶格畸变。

• 对于置换固溶体，溶剂和溶质原子尺寸差别越大，造成的晶格畸变就越大。

• 对于间隙固溶体，由于溶质原子总是大于间隙尺寸，所以溶质原子越大，造成溶剂的晶格畸变就越大。



### 五、固溶强化

晶格畸变处的原子偏离了平衡位置，造成内能增大，产生应力场，结果使溶剂晶体的强度、硬度提高。这种效应称为**固溶强化**。

固溶强化的原理在生产实践中应用非常广泛。如，工程上实际使用的金属材料几乎都是合金，而不使用纯金属。

### 金属间化合物

金属间化合物是指**金属与金属**元素、**金属与非金属**元素结合而成的化合物。

#### 1、特点

- ◆ 晶体结构不同于任一组元，一般较为复杂；
  - ◆ 可以用化学式表示： $A_mB_n$ ；
  - ◆ 仍具有金属的性质，但各种性能都不同于其组元；
- 一般规律：熔点高，硬度高，脆性大。

#### 2、分类

- ◆ 价化合物——电负性是决定因素
- ◆ 电子化合物——电子浓度是决定因素
- ◆ 间隙化合物——原子尺寸是决定因素

### 一、(原子)价化合物

符合原子价规则的化合物，即具有稳定的8电子组态的化合物。又称为**正常价化合物**。

**特点**：符合一般化合价规律；力学性能特点：硬、脆

**组元**：金属与IV A, V A, VI A族元素结合而成

**晶体结构**：

| NaCl型 | CaF <sub>2</sub> 型 | 反CaF <sub>2</sub> 型 | 闪锌矿型<br>立方ZnS | 纤锌矿型<br>六方ZnS |
|-------|--------------------|---------------------|---------------|---------------|
| MgSe  | PtIn <sub>2</sub>  | Mg <sub>2</sub> Si  | $\alpha$ -ZnS | $\beta$ -ZnS  |
| CaSe  | PtSn <sub>2</sub>  | Mg <sub>2</sub> Ge  | HgS           | MgS           |
| MnSe  | Pt <sub>3</sub> P  | Mg <sub>2</sub> Sn  | MnS           | CdSe          |
| PbSe  | AuAl <sub>2</sub>  | Li <sub>2</sub> S   | ZnSe          | MnSe          |
| CaTe  |                    | Cu <sub>2</sub> S   | AlSb          | MnS           |
| SrTe  |                    | Cu <sub>2</sub> Se  | MnSe          | AlN           |
| SnTe  |                    | LiMgN               | ZnTe          | InN           |

**决定因素**：电负性，组元间电负性差越大，化合物越稳定。

**形成规律** (Hume-Rothery)：

- ◆ 所有金属都倾向与IV A, V A, VI A族元素形成正常价化合物；
- ◆ 电负性差越大，化合物越稳定；
- ◆ 结合键主要是离子键或共价键，价化合物主要呈非金属性质或半导体性质。

**NaCl结构, Java动画**

**CaF<sub>2</sub>结构, Java动画**

**闪锌矿ZnS结构, Java动画**

**纤锌矿ZnS结构, Java动画**

## 二、电子化合物

**组元：**金属与金属元素结合而成

**决定因素：**电子浓度。电子浓度决定晶体结构：

$$\frac{e}{a} = \begin{cases} \frac{21}{14} = \frac{2}{3} & \beta\text{相(BCC): CuZn} \\ \frac{21}{13} & \gamma\text{相(复杂立方): Cu}_5\text{Zn}_8 \\ \frac{21}{12} & \varepsilon\text{相(HCP): CuZn}_3 \end{cases}$$

**性能特点：**金属键结合，保持金属特性；熔点较高，硬度高。  
常作为轴承合金中的硬质点。

## 常见电子化合物及其结构类型

| (21/14) $\beta$ 相  |                    |                    | (21/13) $\gamma$ 相<br>$\gamma$ 黄铜结构 | (21/12) $\varepsilon$ 相<br>HCP |
|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| BCC                | 复杂立方               | HCP                |                                     |                                |
| CuZn               | Cu <sub>5</sub> Si | Cu <sub>3</sub> Ga | Cu <sub>5</sub> Zn <sub>8</sub>     | CuZn <sub>3</sub>              |
| Cu <sub>3</sub> Al | Ag <sub>3</sub> Al | Cu <sub>5</sub> Ge | Cu <sub>5</sub> Hg <sub>8</sub>     | CuCd <sub>3</sub>              |
| Cu <sub>5</sub> Sn | Au <sub>3</sub> Al | AgZn               | Cu <sub>9</sub> Al <sub>4</sub>     | Cu <sub>3</sub> Si             |
| AuZn               | CoZn <sub>3</sub>  | AgCd               | Cu <sub>9</sub> In <sub>4</sub>     | AgZn <sub>3</sub>              |
| AuMg               |                    | Ag <sub>3</sub> In | Cu <sub>31</sub> Si <sub>8</sub>    | AgCd <sub>3</sub>              |
| FeAl               |                    | Au <sub>3</sub> In | Ag <sub>5</sub> Zn <sub>8</sub>     | AuZn <sub>3</sub>              |
| NiAl               |                    | Au <sub>5</sub> Sn | Au <sub>5</sub> In <sub>8</sub>     | Au <sub>3</sub> Sn             |

## 三、间隙化合物

**组元：**过渡族金属与原子半径小的非金属元素结合而成。

**如：**H, B, C, N等非金属元素。

**决定因素：**原子尺寸。

$$\frac{r_x}{r_M} < 0.59 \quad \text{通常称为间隙相，化合物结构较为简单}$$

$$\frac{r_x}{r_M} > 0.59 \quad \text{通常称为间隙化合物，结构很复杂}$$

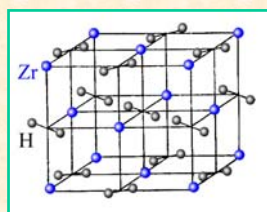
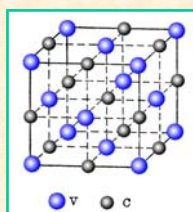
**性能特点：**具有金属特性，熔点高，硬脆。

### 1、间隙相

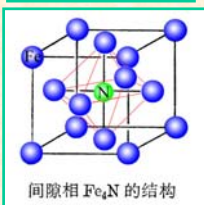
- ◆与间隙固溶体的区别：晶体结构；
- ◆有一定的化学式，共价键、金属键共同作用；
- ◆极高的硬度和熔点；
- ◆非金属元素的成分有一个范围。

| 分子式              | 举 例   | 晶体结构 |
|------------------|---|------|
| M <sub>4</sub> X | Fe <sub>4</sub> N, Mn <sub>4</sub> N  | FCC  |
| M <sub>2</sub> X | Ti <sub>2</sub> H, Zr <sub>2</sub> H, Fe <sub>2</sub> N, Cr <sub>2</sub> N, V <sub>2</sub> N, W <sub>2</sub> C, Mo <sub>2</sub> C, V <sub>2</sub> C | HCP  |
| MX               | TaC, TiC, ZrC, VC, ZrN, VN, TiN, CrN, ZrH, TiH  | FCC  |
|                  | TaH, NbH  | BCC  |
|                  | WC, MoN   | 简单六方 |
| MX <sub>2</sub>  | TiH <sub>2</sub> , ThH <sub>2</sub> , ZnH <sub>2</sub>  | FCC  |

VC



ZrH<sub>2</sub>



间隙相 Fe<sub>4</sub>N 的结构

3个都是FCC结构

### 一些金属及其间隙相的熔点和硬度

|                   | 熔点 / °C | 矿物硬度    | 维氏硬度HV |
|-------------------|---------|---------|--------|
| W                 | 3630    | 6.5~7.5 | ~400   |
| W <sub>2</sub> C  | 3130    | >9      | 3000   |
| WC                | 2867    | 9       | 1730   |
| Mo                | 2895    | 6~7     | 350    |
| Mo <sub>2</sub> C | 2960    | 7~9     | 1480   |
| MoC               | 2960    | 7~8     | -      |
| Ta                | 3300    | 6       | 300    |
| TaC               | 4150    | 8~9     | 1550   |
| TaN               | 3360    | 8       | -      |
| V                 | 1993    | 6.5     | -      |
| VC                | 3023    | >9      | 2010   |
| Nb                | 2770    | 6       | 300    |
| NbC               | 3770    | 9       | 2050   |
| Nb <sub>2</sub> N | 2300    | -       | -      |

## 2、间隙化合物

特点：结构复杂，熔点很高，硬度很高

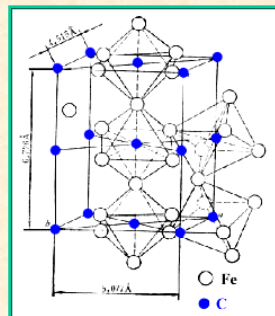
常见类型： $\text{Fe}_3\text{C}$ ,  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ,  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ,  $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$ ,  $\text{Fe}_4\text{W}_2\text{C}(\text{M}_6\text{C})$ 型

$\text{Fe}_3\text{C}$ ——称为渗碳体，晶体结构复杂。是钢铁材料中重要的硬化相。

熔点： $1227^\circ\text{C}$

$C_w = 6.67\%\text{C}$

硬度:HB800



### [说明]

间隙相和间隙化合物都可以看作以化合物为基的固溶体，其成分可以在一定范围内变化，结构不变。

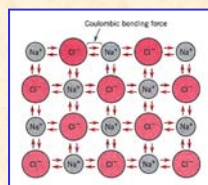
如：合金渗碳体： $(\text{Fe},\text{Mn})_3\text{C}$ ,  $(\text{Fe},\text{Cr})_3\text{C}$ 。Mn, Cr置换了部分Fe原子。

## § 2-4 离子化合物

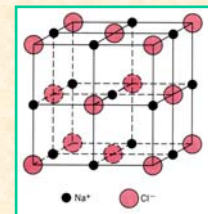
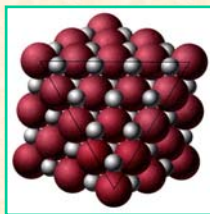
### 一、AB型离子化合物

◆NaCl型结构（岩盐结构）

$\text{Cl}^-$ 离子FCC点阵的结点， $\text{Na}^+$ 离子位于八面体间隙的中心。

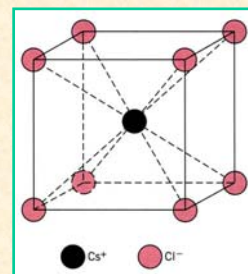


Java动画



### 1、CsCl型结构（AB）

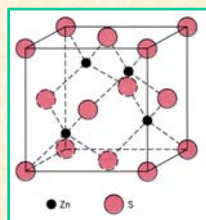
$\text{Cl}^-$ 离子占据BCC晶胞的顶角位置， $\text{Cs}^+$ 离子则位于体心。也可以看作二个简单立方点阵穿插而成的超结构。



### 2、立方ZnS型结构（闪锌矿）

$\text{ZnS}$ 具有二种结构：立方型和六方型，前者称为闪锌矿，或 $\alpha\text{-ZnS}$ ；后者称为纤锌矿，或 $\beta\text{-ZnS}$ 。

闪锌矿结构示意图：



较大的 $\text{S}^{2-}$ 离子占据FCC晶胞的结点， $\text{Zn}^{2+}$ 离子占据四个不相邻的四面体间隙。

Java动画

纤锌矿结构示意图：

陶杰编教材，P.74，图2-80  
清华教材，P.106，图2-54

$\text{S}^{2-}$ 离子占据HCP的结点， $\text{Zn}^{2+}$ 离子则位于间隙四面体中心位置。也可以看作由两个密排六方点阵叠加而成。

Java动画

## 二、 $\text{AB}_2$ 型离子化合物

$\text{CaF}_2$ （萤石）型结构

$\text{Ca}^{2+}$ 离子占据FCC结点， $\text{F}^-$ 离子占据所有四面体间隙。

陶杰编教材，P.76，图2-82  
清华教材，P.107，图2-55

## 三、 $\text{A}_2\text{B}_3$ 型离子化合物

典型： $\text{Al}_2\text{O}_3$ （刚玉）

陶杰编教材，P.78，图2-87  
清华教材，P.109，图2-58



## § 2-5 硅酸盐结构简介

硅酸盐——丰富、廉价的陶瓷材料。应用最多的：**水泥**。

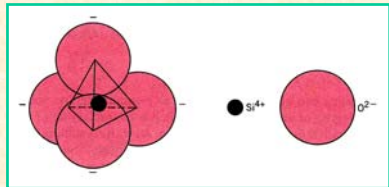
重要的硅酸盐矿物：长石、高岭土、滑石、橄榄石等。

按化学成分分为：正硅酸盐，即  $(\text{SiO}_4)$  的盐

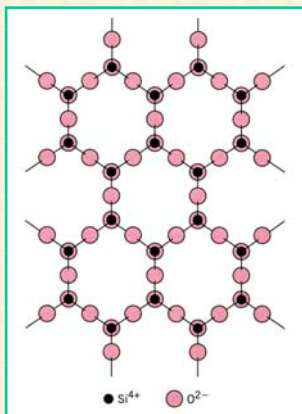
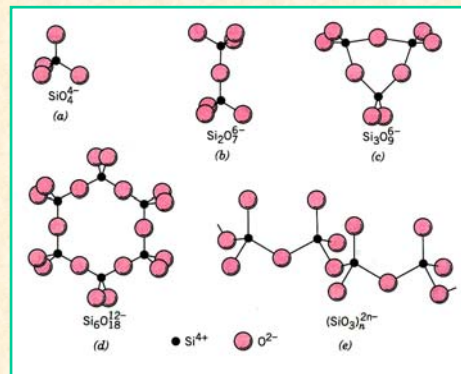
偏硅酸盐，即  $(\text{SiO}_3)$  的盐

硅酸盐结构的基本特点：

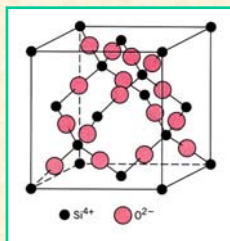
**基本结构：[SiO<sub>4</sub>]四面体**，Si原子位于O四面体的间隙中。



## [SiO<sub>4</sub>]四面体相互链接形式



环状连结



方石英 ( $\text{SiO}_2$ ) 的晶体结构：  
Si<sup>4+</sup>排成金刚石结构，O<sup>2-</sup>桥接 2 个 Si<sup>4+</sup>。Si<sup>4+</sup>同样在 [SiO<sub>4</sub>] 四面体的中心。

## 一、含孤立有限的硅氧团 [SiO<sub>4</sub>] 的硅酸盐

硅氧四面体中，每一个氧都为-1价。因而，单个硅氧团为-4价。所以，它能够与其它正离子键合而使化合价达到饱和，从而形成孤立的硅氧四面体构成的稳定结构。

这种化合物的分子式为：

**M<sup>n+</sup>代表金属正离子，**

如：Mg<sup>2+</sup>，Ca<sup>2+</sup>，Fe<sup>2+</sup>，

Be<sup>2+</sup>，Zn<sup>2+</sup>，Mn<sup>4+</sup>，Zr<sup>4+</sup>

$2\text{M}^{2+}\text{O} \cdot \text{SiO}_2$  (或  $\text{M}^{2+}_2[\text{SiO}_4]$ )

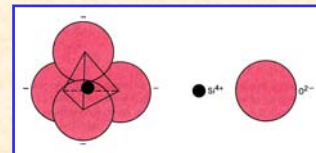
$2\text{M}^{2+}\text{O} \cdot \text{SiO}_2$  (或  $\text{M}^{2+}_2[\text{SiO}_4]$ )

$\text{M}^{4+}\text{O} \cdot \text{SiO}_2$  (或  $\text{M}^{4+}[\text{SiO}_4]$ )

**此类硅酸盐：**

◆ 镁橄榄石 ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ )

◆ 锆英石 ( $\text{ZrSiO}_4$ )



## 二、链状 [SiO<sub>4</sub>] 的硅酸盐

硅氧四面体通过共顶连结而形成的一维结构。

**链状硅酸盐矿物：**

◆ 硅灰石  $\text{Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$

◆ 硅线石  $\text{Al}[\text{AlSiO}_5]$

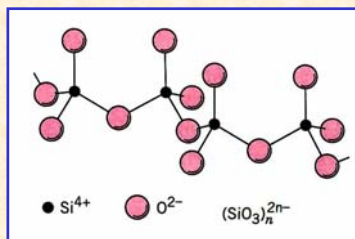
◆ 红柱石  $\text{Al}_2[\text{O}(\text{SiO}_4)]$

(正交晶系)

◆ 蓝晶石  $\text{Al}_2[\text{O}(\text{SiO}_4)]$

(三斜晶系)

◆ 莫来石  $\text{Al}[\text{Al}_{1.4}\text{Si}_{0.6}\text{O}_{4.8}]$



## 三、层状 [SiO<sub>4</sub>] 的硅酸盐

**层状硅酸盐：**

◆ 高岭土  $\text{Al}_2[(\text{OH})_4/\text{Si}_2\text{O}_5]$

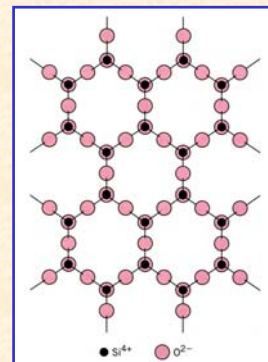
◆ 叶蜡石  $\text{Al}_2[(\text{OH})_2/\text{Si}_4\text{O}_{10}]$

◆ 蒙脱石  $\text{Al}_2[(\text{OH})_2/\text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$

◆ 滑石  $\text{Mg}_3[(\text{OH})_2/\text{Si}_4\text{O}_{10}]$

◆ 白云母  $\text{KAl}_2[(\text{OH})_2/\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$

◆ 蛭石



#### 四、骨架状 $[\text{SiO}_4]$ 的硅酸盐

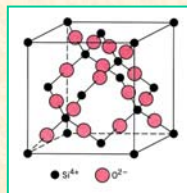
骨架状硅酸盐也称为网络状硅酸盐，它是硅氧四面体在空间组成的三维网络结构。

硅石( $\text{SiO}_2$ )就是典型的骨架状硅酸盐。硅石又叫石英，它有三种同质异构体：

石英  $\xrightarrow{870^\circ \text{C}}$  鳞石英  $\xrightarrow{1470^\circ \text{C}}$  方石英  $\xrightarrow{\quad}$  熔融

石英玻璃（无定型，即非晶态）具有极低的膨胀系数。

方石英的结构



本章结束