



关于化学与新材料



- **现代高科技(modern high-tech)**

信息、材料、能源、生物技术

—**社会文明支柱，科技创新的重要标志**

- **材料**—人类社会发展的里程碑！

- **新材料**—现代科学技术和社会发展的基础和支柱！

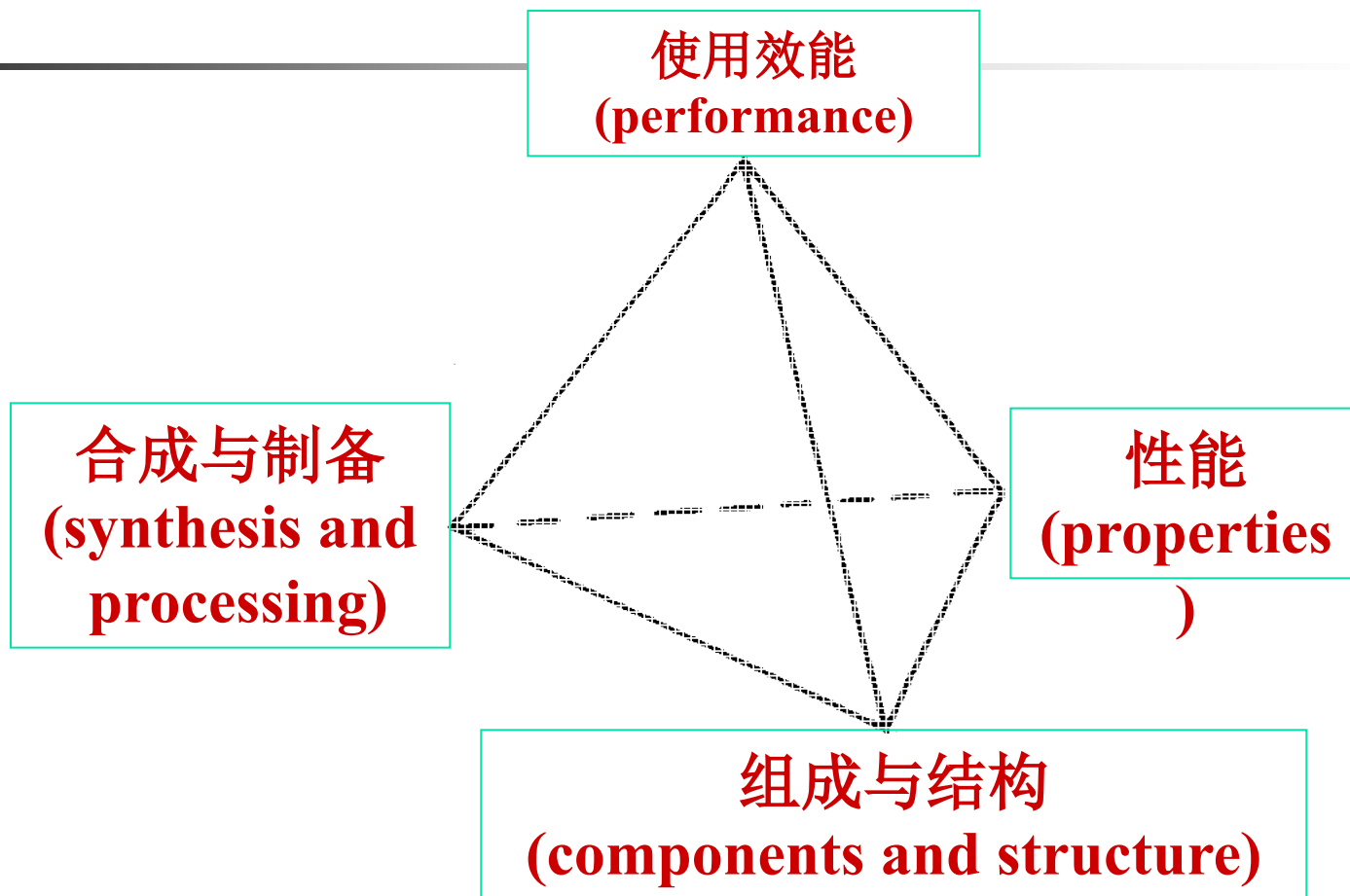
- **化学**—材料科学技术的理论基础。

1. 材料科学与工程

(materials science and engineering)

- 研究材料的合成与制备、组成与结构、性能及使用效能各组元本身及四者之间的相互依赖关系的规律—**材料科学**.
- 研究如何利用这些规律性的研究成果以新的或更有效的方式开发并生产出材料,提高材料的使用效能,以满足社会的需要,设计与制造材料制备与表征所需的仪器、设备—**材料工程**
- 科学与工程彼此密切结合,构成个学科整体.

构成材料科学与工程的四组元四面体关系



合成与制备

- 合成主要指促使原子、分子结合而构成材料的化学与物理过程。既包括有关寻找新合成方法的科学问题、也包括以适用的数量和形态合成材料的技术问题；既包括新材料的合成，也应包括已有材料的新合成方法(加溶胶—凝被法)及其新形态(如纤维、薄膜)的合成。
- 制备主要指材料在宏观尺度上加工、处理、装配和制造等一系列过程，使之具有所需的性质和使用效能。
- ✓ 合成与制备是提高材料质量、降低生产成本和提高经济效益的关键，也是开发新材料、新器件的关键环节。

组成和结构

- **组成**指构成材料物质的原子、分子及其分布；除主要组成以外，杂质及对材料结构与性能有重要影响的微量添加物亦不能忽略。
- **结构**则指组成原干、分子在不同层次上彼此结合的形式、状态和空间分布，包括原子与电子结构、分子结构、晶体结构、相结构、晶粒结构、表面与晶界结构、缺陷结构等；在尺度上则包括纳米以下、纹米、微米、色米及更宏观的结构层次。
- ✓ 材料的组成与结构是材料科学与工程的基本研究内容，它们指导材料的合成与制备，决定材料的性能和使用效能。



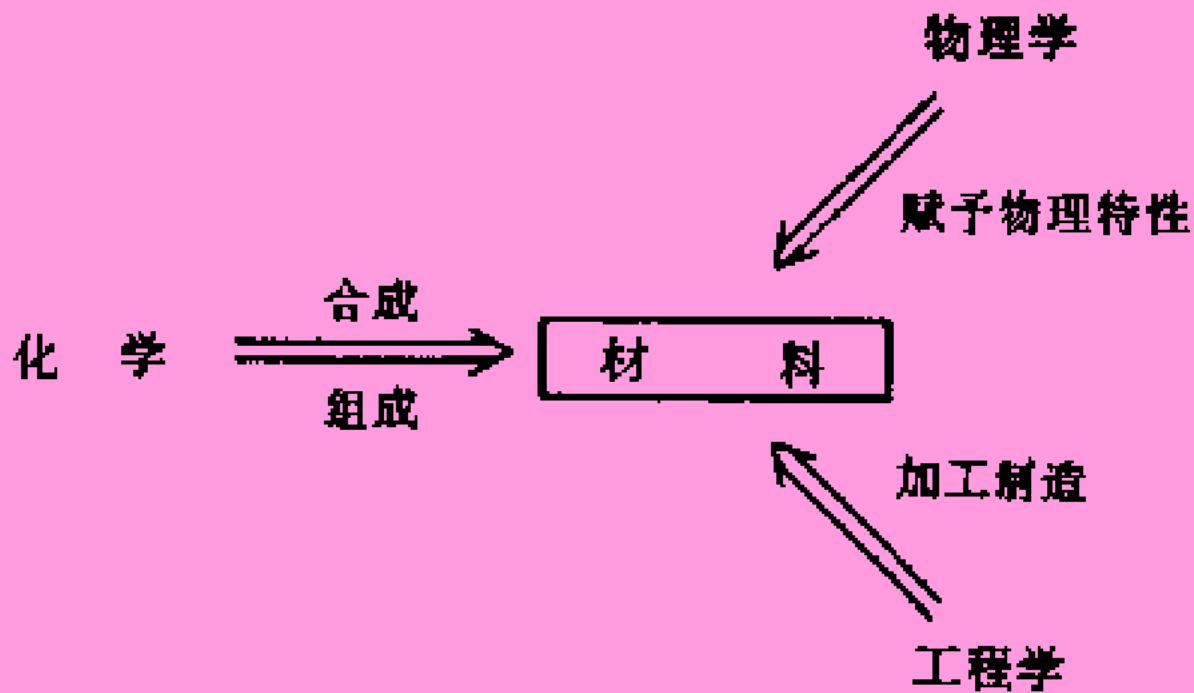
性能

- **性能**指材料固有的物理、化学特性,也是确定材料用途的依据. 广义地说,性能是材料在一定的条件下对外部作用的反应的定量表述. 例如,对外力作用的反应为力学性能,对外电场作用的反应为电学性能,对光波作用的反应为光学性能等等.

使用效能

- **使用效能**是材料以特定产品形式在使用条件下所表现的效能。它是材料的固有性能、产品设计、工程持性、使用环境和效益的综合表现,通常以寿命、效率、可靠性、效益及成本等指标衡量。因此,与**工程设计及生产制造过程密切相关**,不仅有宏观的工程问题,还包括复杂的材料科学问题。例如,材料部件的损毁过程和可靠性往往涉及在特定的温度、气氛、应力和疲劳环境厂材料中的缺陷形成和裂纹扩展的微观机理。
- ✓ 材料的使用效能是材料科学与工程所追求的最终目标、而且在很大程度上代表这一学科的发展水平。

材料科学与工程是多学科交叉





材料的选择(materials selection)

三个重要标准

- 性质
 - 机械性能 + 物理性能
- 失效性
 - 环境因素：氧化 & 腐蚀
- 经济性
 - 价格 & 可用性



材料的性质(properties of materials)

✦ 机械性质 (应力—应变)

- 强度
- 延展性
- 断裂韧性
- 抗冲击强度
- 蠕变性
- 疲劳性
- 磨损

✦ 物理性质

- 热性能
- 磁性能
- 光学性能
- 失效性能

材料的分类 (classification of materials)

基本分类

(按照组成)

- 金属材料
- 无机非金属材料
- 有机高分子材料
- 复合材料

其他

(按照用途)

- 结构材料
- 功能材料
 - 光
 - 电、磁
 - 热
 - 生物材料



2. 金属材料 (metals & alloys)

- 金属材料是以金属元素为基础的材料. 金属单质一般有良好的塑性, 但其机械性能往往很难满足工程技术等多方面的需要, 因此, 金属材料更多以合金的形式使用.
- 由于价电子的高度离域性, 决定了它们具有良好的导电、导热性能和易氧化腐蚀的性能.
- 高密度
- 可塑性形变, 加工成各种复杂形状.
- 高延展性, 决定了具有高冲击和断裂韧性.



合金的基本结构类型 (alloys)

P291~297

- 合金是由两种或两种以上的金属元素(或金属与非金属元素)组成, 具有金属特征和更优异性能与使用效能的材料. 包括三种结构类型.
- 相互溶解而形成金属固熔体—强度提高, 延展性和导电导热性能下降.
- 相互起化学作用而形成化合物—性能随化合物组成、结构与性能而变化
- 无化学相互作用的机械混合物—性能平均、熔点下降.

轻质合金 (alloys)

- ❖ 轻质合金是由轻金属(Al, Mg, Ti, Li等)形成的合金材料.
- ❖ 铝合金: 金属铝的密度仅 2.7g/cm^3 , 导电导热, 但强度、硬度和耐磨性能差, 若与Mg、Cu、Zn、Mn、Si等形成合金, 机械性能会大幅度改善.
 - 经热处理提高强度的变形铝合金为硬铝合金, 其制品的强度和钢相近, 而质量仅为钢的 $1/4$ 左右, 但耐腐蚀性较差. 如Al-Cu-Mg, Al-Cu-Mg-Zn等.
 - 用压力加工法提高强度的变形铝合金称为防锈铝合金, 可耐海水腐蚀, 可用于造船工业等. 如Al-Mn, Al-Mg等
 - 高强高模铝锂合金: 锂是最轻金属, 其密度为 0.534g/cm^3 , 是铝的 $1/5$, 钢的 $1/15$. 飞机上改用铝锂合金后, 重量可减轻 $8\% \sim 16\%$. 如B737可减重 2178kg, B747SP可减重4200kg.



轻质合金 (light alloys)

- **钛合金** 钛与Al, V, Cr, Mo, Mn和Fe可形成置换固熔体或金属间化合物而使其强度提高. 具有**强度高, 密度小, 抗磁性, 耐高温, 抗腐蚀**等优点, 是宇航工业的重要结构材料. 可助人**上天入海**.

形状记忆合金 (shape memory alloy)

- 所谓形状记忆效应是指合金材料在一定条件下, 变形后仍能恢复到变形前原始形状的能力. 这类合金存在着一对可逆转变的晶体结构, 在某一转变温度发生相转变. 1951年美国人在一次试验中首先发现Au-Cd合金有记忆形状的特性. 现已发现有多种合金系统都存在形状记忆效应, In-Tl、Ni-Ti、Ti-Ni-Cu、Ti-Ni-Nb合金等.
- 形状记忆合金具有传感和驱动双重功能, 是一种智能材料, 可广泛应用于宇航, 自控, 医疗和生活等领域.

贮氢合金 (hydrogen storage alloy)

- ❖ 某些过渡金属、合金和金属间化合物, 由于其特殊的晶体结构, 使氢原子容易进入其晶格的间隙中并形成金属氢化物, 氢与这些金属的结合力很弱, 但贮氢量很大, 可以贮存比其本身体积大1000 ~1300倍的氢, 加热时氢又能从金属中释放出来.
- ❖ 1968年美国布鲁海文国家实验室首先发现**镁-镍合金**具有吸氢特性, 1969年荷兰菲利普实验室发现**钐钴 (SmCo₅) 合金**, 随后又发现**镧-镍 (LaNi₅) 合金**在常温下具有良好的可逆吸放氢性能, 从此引起了人们极大的关注. 已经成功开发了**镁系, 稀土系, 钛系, 锆系贮氢合金**, 正向多元化发展.
- ❖ **贮氢合金贮运氢气**, 既轻便又安全, 作为一种新型储能材料具有极为广泛的应用前景.

耐热合金 (heat resistant alloy)

一般金属材料的长期使用温度500~600 °C, 能在高于700 °C 条件下工作的金属合金称为**耐热合金**. “**耐热**”是指材料在高温下能保持足够强度和良好的抗氧化性.

- **耐热合金**通常是由第V B~VII B和VIII族高熔点金属形成的合金.
 - ✓ 广泛应用于制造涡轮发电机, 各种燃气轮机热端部件等.
 - ✓ 包括铁基, 镍基, 钴基, 铌基和钨基等合金.
- 提高钢铁耐热性的途径:
 - ✓ 设法提高金属键的强度. 金属键的强度与原子中成单电子数有关, 所以与**Cr, Mo, W**等形成合金可提高耐热性.
 - ✓ 加入可形成**耐高温化合物如碳化物**的金属, 形成合金.

低熔点合金(low melting alloy)

- **低熔点合金**是指由低熔点金属Hg, Sn, Pb和Bi形成的合金.
 - ✓ Wood合金: 组成为: 质量分数50%Bi-25%Pb-13%Sn-12%Cd, 熔点仅71°C, 应用于自动灭火设备, 锅炉安全装置以及信号仪表等.
 - ✓ 焊锡: 组成为质量分数37%Pb-63%Sn, 熔点183°C.
 - ✓ 液体合金: 组成质量分数77.2%K-22.8%Na, 熔点-12.3°C, 应用于原子能反应堆的冷却剂.

耐腐蚀合金(corrosion-resistant alloy)

- **耐腐蚀金属**: 通常具备下述条件之一
 - ✓ 热力学稳定性高: 一般是贵金属Pt, Pd, Au, Ag, Cu等.
 - ✓ 易于钝化的金属: Al, Nb, Ta, Ti, Zr, Cr等.
 - ✓ 表面能生成难溶的和保护性良好的腐蚀产物膜的金属. 通过特定腐蚀介质来实现.
- **耐腐蚀合金**: 抵抗介质侵蚀能力比一般金属材料更高.
 - ✓ 与热稳定性高的贵金属形成合金.
 - ✓ 与易钝化金属形成合金.
 - ✓ 在合金表面形成致密保护膜.

磁性材料 (magnetic materials)

- ❖ **磁性体**是由电磁作用而产生磁化的物质. 凡是能磁化到较大磁化强度并在实际中可利用其磁性的强磁性体称为**磁性材料**.
- ❖ **磁性材料主要有两大类**
 - ✓ 矫顽力极大, 并且以剩余磁通密度很高为特征, 称为**硬磁材料或永磁材料**, 在发电机、电气仪表等方面大量应用;
 - ✓ 矫顽力小, 外部磁场的微小变化即可引起磁化的很大变化, 为磁损失小的高导磁率材料, 称为**软磁材料**, 主要用于电动机及变压器的磁芯以及各种磁头材料、磁性密封材料和微波材料等. 此外还有利用磁滞曲线非线性部分的磁记录材料和磁存储材料以及磁致伸缩材料和磁光材料等.

永磁合金 (permanent magnet alloy)

- ❖ 矫顽力极大, 并且以剩余磁通密度很高为特征, 称为**硬磁材料**或**永磁材料**.
- ❖ 最早的永磁合金是具有铁磁性的Fe, Co, Ni的合金.
- ❖ **稀土永磁合金**
 - ✓ SmCo_5
 - ✓ $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$
 - ✓ **Nd-Fe-B**
 - ✓ $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_2$
 - ✓ **Pr-Fe-B-Cu**

巨磁阻效应 (gigantic reluctance effect)

- ❖ 在一定磁场下材料电阻改变的现象称**磁电阻**。**巨磁阻**是指在一定磁场下电阻急剧减小的现象。比一般磁性合金强10多倍。
- ❖ 1988年巴黎大学肯特教授首次在Fe/Cr多层膜中发现巨磁阻效应。随后在Fe/Cu, Fe/Al, Fe/Au, Co/Cu, Co/Ag和Co/Au等纳米结构的的多层膜中发现了显著的巨磁阻效应。
- ❖ **巨磁阻效应**在高密度读出磁头, 磁存储元件等高技术领域有广泛用途。
- ❖ 1994年IBM公司研制成功巨磁阻效应的读出磁头, 磁记录密度提高17倍, 达5Gbit/in², 现衣超过11 Gbit/in²。
- ❖ **巨磁阻效应**还可用于制备无电源随机存储器, 微弱磁场探测器。

非晶态金属(amorphous metal)

- ❖ 将某些金属熔体,以极快的速度急剧冷却,如 10^6K/s ,无序的原子被迅速“冻结”而形成无定型的固体,称**非晶态金属**,亦称**金属玻璃**.
- ❖ 能形成非晶态的合金有两类:
 - ✓ **金属之间的合金**:如 $\text{Cu}_{60}\text{Zr}_{40}$, $\text{La}_{76}\text{Au}_{24}$, $\text{U}_{70}\text{Cr}_{30}$ 等.
 - ✓ **金属与非金属形成的合金**:如 $\text{Fe}_{80}\text{B}_{20}$, $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}\text{P}_{14}\text{O}_6$ 和 $\text{Fe}_5\text{Co}_{70}\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$ 等.
- ❖ **制备非晶态合金的技术**:气相沉积法,激光表层熔化法,离子注入法,化学沉积法和电沉积法等.
- ❖ **性能特点**:强度韧性兼具;耐蚀性优异;低损耗,高磁导;一定的催化性能和贮氢能力.

3. 无机非金属材料

(inorganic nonmetal materials)

- ✦ 除金属以外的无机材料统称**无机非金属材料**。
- ✦ 传统的无机非金属材料主要有**陶瓷、玻璃、水泥和耐火材料四种**，化学组成均为硅酸盐类，因此无机非金属材料亦称**硅酸盐材料**；又因其中陶瓷材料历史最悠久，应用甚为广泛，故国际上常称之为**陶瓷材料**。
- ✦ **先进无机非金属材料，亦称无机新材料**。包括**结构陶瓷，复合材料，功能陶瓷，半导体，新型玻璃，非晶态材料和人工晶体等**。



无机非金属材料的特点

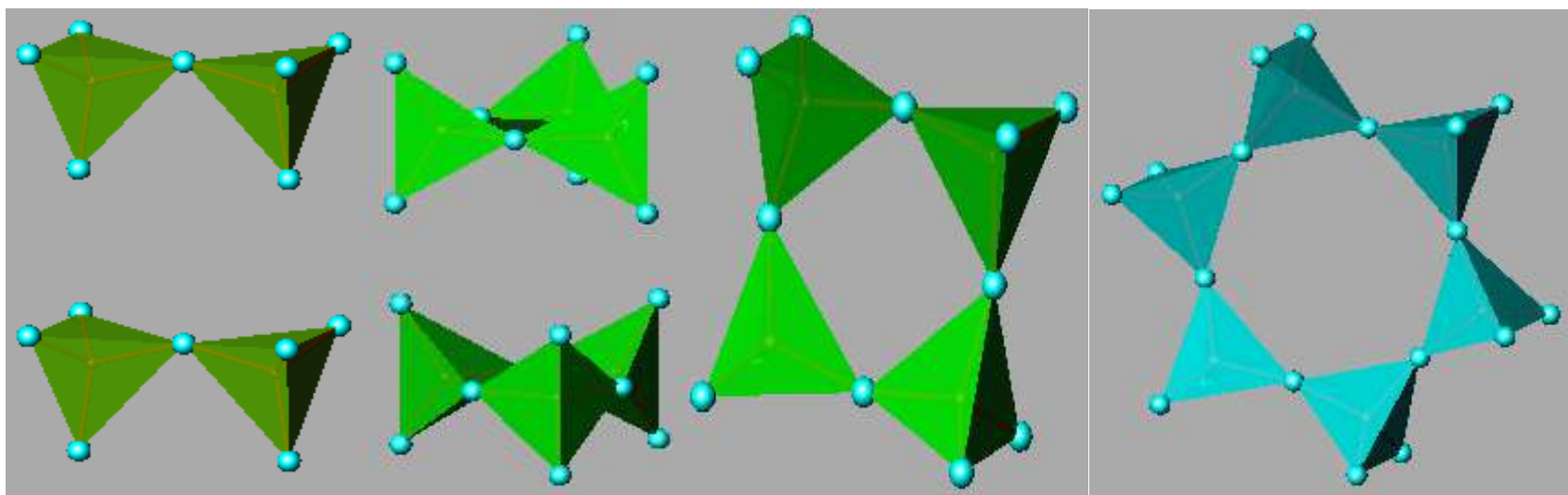
- ✦ **晶体结构:** 结合力主要为离子键、共价键或离子-共价混合键. 赋予这类材料以高熔点、高强度、耐磨损、高硬度、耐腐蚀和抗氧化的基本属性, 以及新近发现的宽广的导电、导热性和透光性以及良好的铁电性、铁磁性和压电性, 高温超导性等.
- ✦ **化学组成:** 无机非金属材料已不局限于硅酸盐, 还包括其他含氧酸盐、氧化物、氯化物、碳与碳化物、硼化物、氟化物、硫系化合物、硅、锗、III~V族及II~VI族化合物等. 其形态初形状也趋于多样化, 复合材料、薄膜、纤维、单晶和非晶材料占有越来越重要的地位.
- ✦ **制备:** 高纯度、高细度的原料, 并精确控制化学组成、添加物的数量和分布、晶体结构和材料微观结构等.



传统的无机非金属材料

- **天然硅酸盐**: 其基本结构单元为硅氧四面体 $(\text{SiO}_4)^{4-}$, 即硅位于四面体的中心, 四个氧原子位于四面体的四个顶点. $(\text{SiO}_4)^{4-}$ 四面体相互结合, 或与金属离子形成: 具有单个阴离子, 链状和层状阴离子以及骨架状结构等四大类硅酸盐.

硅氧骨架结构



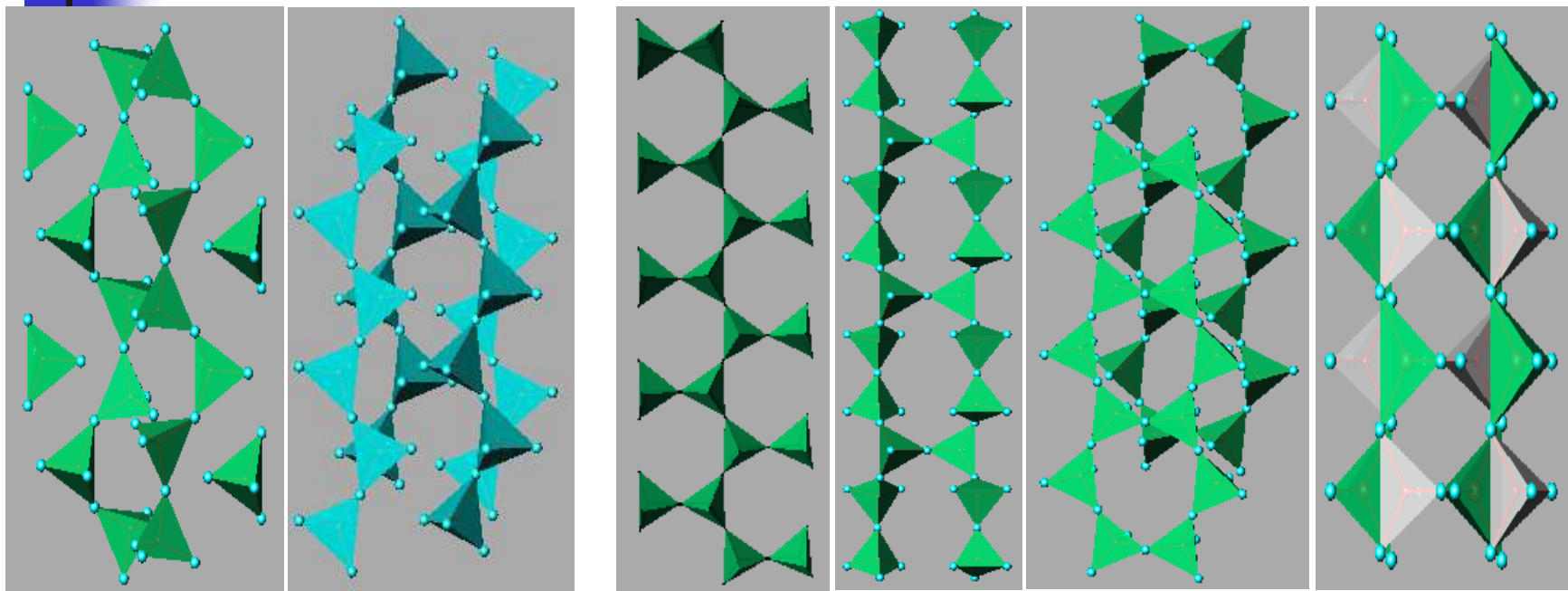
岛状

三方环

四方环

六方环

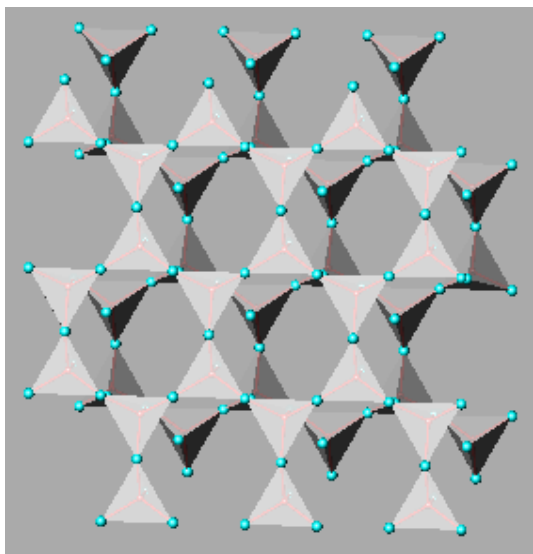
硅氧骨架结构



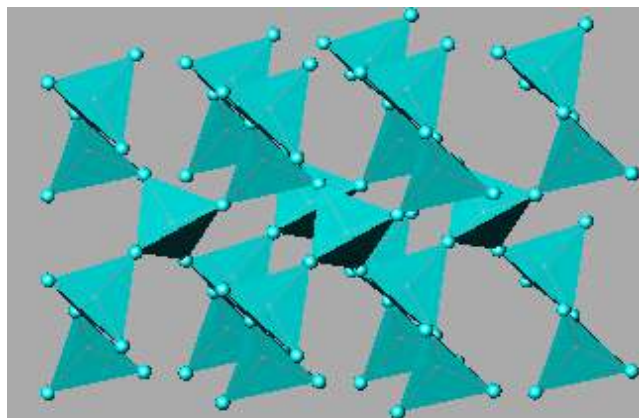
单链

双链

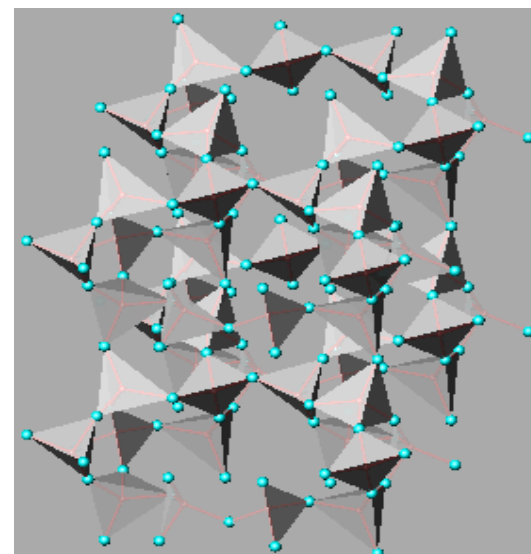
硅氧骨架结构



层状

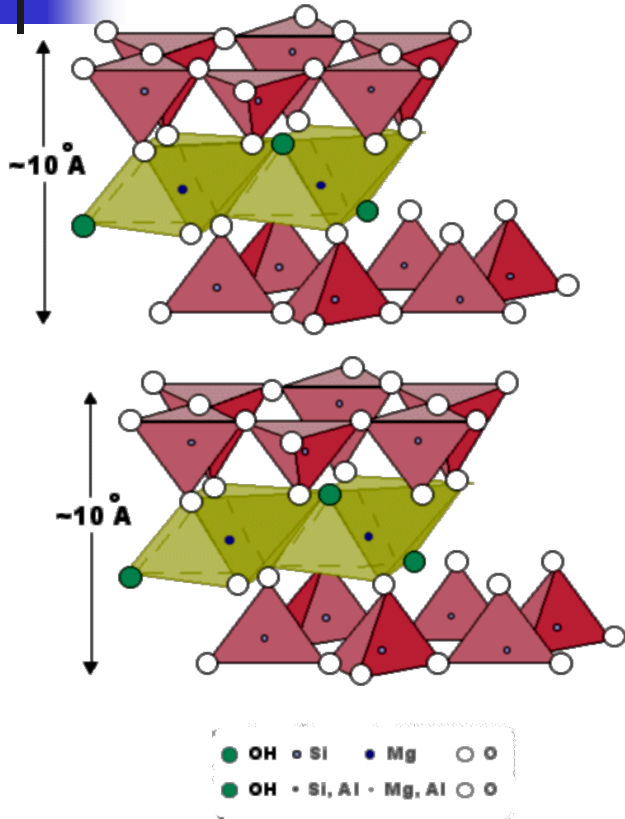


石英架状

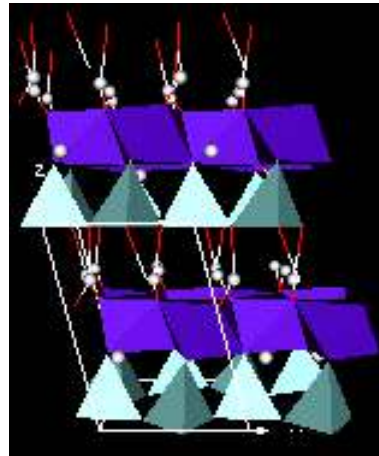


长石架状

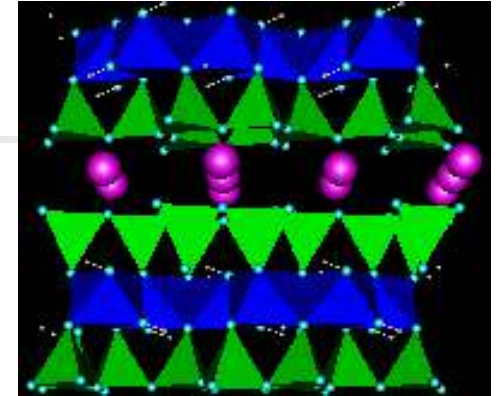
层状硅酸盐矿物



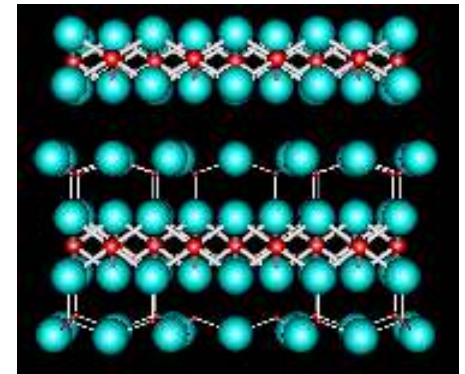
滑石



高岭土

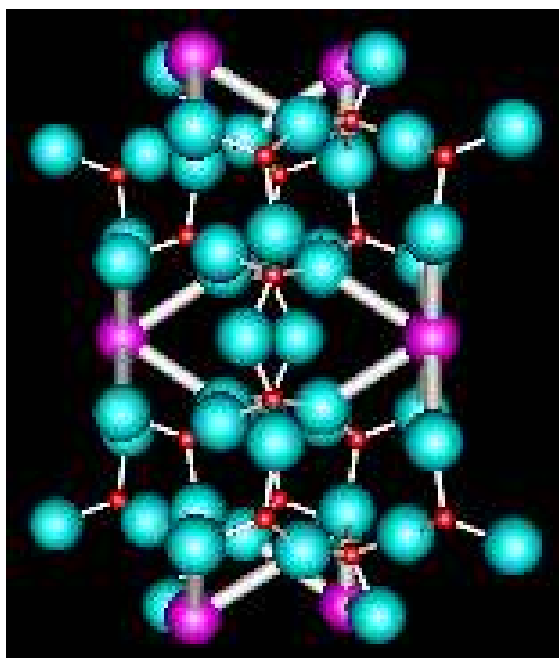


白云母

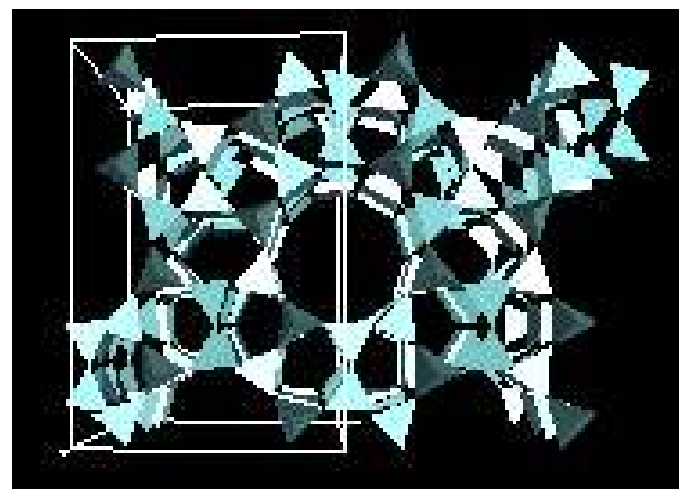


蛇纹石

架状硅酸盐矿物

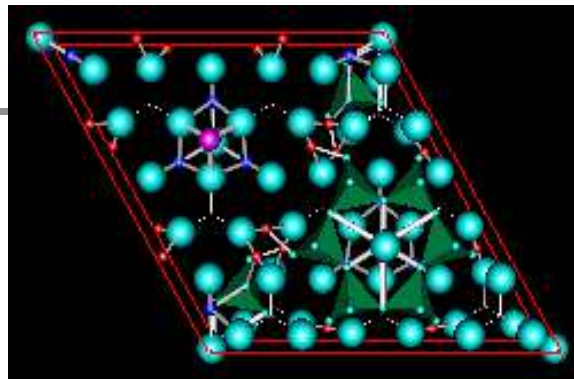


长石

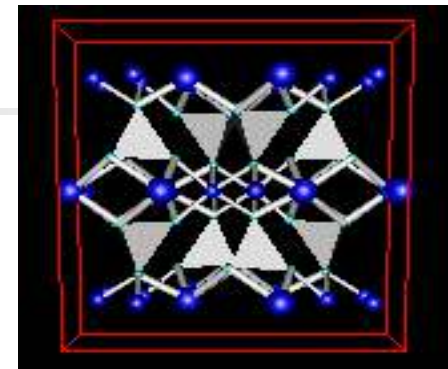


沸石

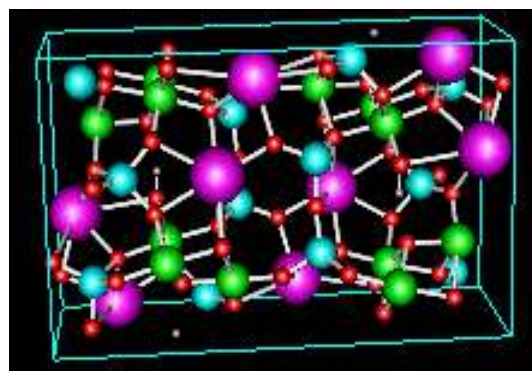
链状、环状硅酸盐矿物



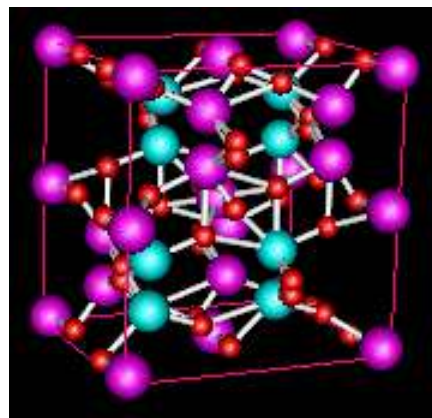
电气石



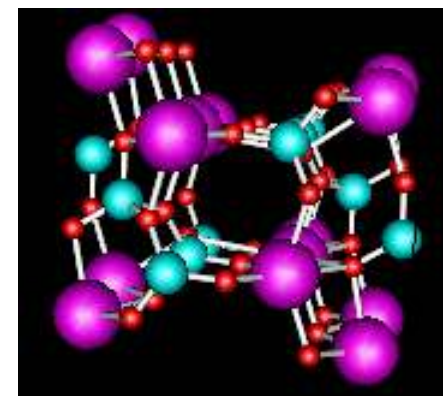
辉石



绿帘石



硅线石



硅灰石

水泥 (cement)

- ❖ **水泥**: 是一种水硬性胶凝材料, 加入适量水后称为塑性浆体, 可将砂、石纤维等材料黏结起来, 硬化后形成一个整体.
- ❖ **硅酸盐水泥**: 以粘土和石灰石(有时加入少量氧化铁粉)为原料, 经煅烧成熟料, 磨细后混入适量石膏而成.
- ❖ 组成为质量分数:
 $62\sim 67\% \text{CaO} + 20\sim 24\% \text{SiO}_2 + 4\sim 7\% \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\sim 5\% \text{Fe}_2\text{O}_3$.
- ❖ **水泥标号**: 标准试样在标准条件下, 28天后的强度 kg/cm^2 .
- ❖ **特种水泥**: 矾土水泥, 快凝快硬“双快水泥”, 防裂防渗的“低温水泥”, 能耐 1250°C 的“耐火水泥”, 用于化工生产和特殊场合的“耐酸水泥”.

玻璃 (glass)

- 广义上说, 凡熔体通过一定方式冷却, 因粘度逐渐增大而具有固体性质和结构特征的非晶态物质都称为**玻璃**.
- **普通硅酸盐玻璃**: 主要成分是 SiO_2 , Na_2O 和 CaO 等, 硬而脆.
- 硅酸盐玻璃中的 Na_2O 被 B_2O_3 取代, 可得到硬而耐热的硅硼酸盐玻璃, 最高耐温可达 $1600\text{ }^\circ\text{C}$, 称为**耐热玻璃**.
- 硅酸盐玻璃中加入 Li_2O 等成核剂, 紫外线照射或特殊热处理, 在体系中形成 SiO_2 和 Li_2O 微晶, 得到**微晶玻璃**. 强度提高6倍, 比高碳钢硬, 比铝轻, $900\text{ }^\circ\text{C}$ 入冷水而不碎.
- **石英玻璃**: 热膨胀系数极小, $1100\sim 1200\text{ }^\circ\text{C}$ 可长期使用.
- **钢化玻璃**: 高强而安全, 碎块不尖, 不伤人.
- 新玻璃品种: 半导体玻璃, 激光玻璃, 电光玻璃, 透红外线玻璃等.



陶瓷 (ceramics)

- Æ **陶瓷**: 指以粘土为原料, 调制成型, 经高温烧结而制得的硬而脆, 耐水的人工硅酸盐材料.
- Æ 以粘土为原料, 调制成型, 低于 1000°C 烧结得到的多孔烧结体, 称**陶**; 以更纯粘土与几乎等量的石英和长石, 调制成型后, 1200°C 煅烧, 在经涂釉, 升至 1400°C 煅烧, 得到带有细釉的“**瓷器**”.
- Æ 传统的陶瓷材料是复杂的多晶体, 是晶粒、晶界、气孔和玻璃包裹物的集合体. 细化晶粒, 提高致密程度, 减小气孔率, 增加附加能量消耗材料相, 可提高陶瓷的强度和韧性.

精细陶瓷 (advanced ceramics)

结构陶瓷: 指具有高硬、高强、耐磨耐蚀、耐高温和润滑性好等性能, 用做机械结构零部件的陶瓷材料.

氧化铝: 高纯超细氧化铝经高温烧结而得. 使用温度高达 1980°C , 用途极广. 高纯氧化铝加入少量 Y_2O_3 和 MgO 等, 特殊烧结, 可得**透明陶瓷**. 少量 Cr_2O_3 与 Al_2O_3 形成固溶体, 称**红宝石**, 是激光材料.

氧化锆: 离子键结合, 性脆. 加入少量 Y_2O_3 和 CaO 等可实现增韧, 得到“陶瓷纲”.

氮化硅: 硬度为9. 低膨胀, 高热导, 可适应温度的急剧变化. Si_3N_4 可与 Al_2O_3 形成固溶体, 制得新材料“塞龙(sialon)”.

碳化硅: SiC , 俗称“金刚砂”, 原子晶体. 高温强度极高, 掺杂可制得半导体材料, 制作发热元件. 已用于制造无冷却式陶瓷发动机.

精细陶瓷 (advanced ceramics)

功能陶瓷: 指以其固有的特性或通过各种物理因素作用而显示某种新性能的陶瓷材料.

压电陶瓷: 具有压电效应的陶瓷材料. 主要有: 钛酸钡系、钛酸铅系和锆钛酸铅系. 用于制造各种换能器和传感器. 晶体受外力作用而形变, 同时在对应两个面上产生电荷, 晶体带电的大小与外力成正比; 相反, 在外加电场作用下, 在晶体相应面上会产生形变, 该现象称“**压电效应**”.

光导纤维: 光通信的关键. SiO_2 和 LaF_3 已实用化.

固体电解质: AgI 离子晶体, Y_2O_3 和 CaO 稳定的 ZrO_2 , $\text{Na-}\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 等.

传感材料

半导体材料 (semiconducting material)

⚡ 半导体材料: 室温电阻率为 $10^{-4} \sim 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$, 依靠电子和孔穴这两类载流子的迁移实现导电的材料.

⚡ 半导体材料类型:

⚡ 元素半导体: 包括Si, Ge, Sn, P, As, Se等, 但实用的纯单质只有Si和Ge. 均使用其高纯单质, 如大规模集成电路使用的硅纯度超过99.9999999, 现已能制得14个9的单晶硅.

⚡ 掺杂半导体: 适当掺杂大幅度提高电导率, 通过调整杂质含量控制电导率, 包括p-型如Si(B, Al), Ge(Ga)和n-型半导体如Si(P, As), Ge(As).

⚡ 化合物半导体: $A^x B^{8-x}$ ($x=1, 2, 3$), 即I-VII, II-VI, III-V族元素的组合, 具有金刚石型或ZnS型晶体结构, 以共价键为主. 实用化最多的是III-V型, 性能最好的是GaAs, 亮灰, 硬而脆, 掺Te, 得n-型, 掺Zn或Cd得p-型.

⚡ 缺陷半导体: 氧化物和硫化物, 结构中存在阴离子或阳离子空位.

超导材料 (superconducting materials)

Æ **超导电性**: 某些材料随温度降低, 电阻率下降, 在某一特定温度附近, 电阻突然消失的现象. 具有超导电性的材料称**超导材料**.

Æ **荷兰物理学家H.K.Onnes**:1911年首次发现Hg在4.15K时出现0电阻.

Æ1973年得到Tc为23.2K的Nb₃Ge超导体.

Æ20世纪80年代中期, 世界超导研究出现高潮, 取得巨大突破:

Æ1986年瑞士贝德诺兹和缪勒发现了Tc=35K的La-Ba-Cu-O混合氧化物.

Æ 1987年美籍华人朱经武发现了Tc=90K的超导氧化物. 我国赵中贤研究组制得了Tc=93K的Y-Ba-Cu-O混合氧化物, 并测定了晶体结构. 超导温度已高于液氮沸点77K, 进入实用化阶段.

Æ 科大研究组已制得了Tc=132K的Bi-Pb-Sb-Sr-Ca-Cu-O超导体.

Æ以C60为基础的有机超导体研究也取得了突破性进展.

Æ 超导材料在能源输送, 磁悬浮列车, 医疗卫生等领域有广阔应用前景.



4. 高分子材料

- ✦ 高分子材料学科的基本任务是：研究高分子材料的**合成、结构和组成与材料的性质、性能之间的相互关系**；探索**加工工艺和各种环境因素**对高分子材料性能的影响；为改进工艺, 提高高分子材料的质量, 合理使用高分子材料, 开发新材料、新工艺和新的应用领域提供理论依据和基础数据. 高分子材料学科是一门年轻而新兴的学科, 它的发展要求科学和工程技术最为密切的配合, 它的进步需要**跨部门、多学科的最佳协调和共同参与**.

术语 (Nomenclatures)

- ✦ **Macromolecule (大分子)**: 由大量原子组成, 具有高的相对分子质量或分子重量.
- ✦ **Polymer molecule (聚合物分子, 简称高分子)**: 由许多 (poly)部分 (mer, 单体单元或链节)组成的多重重复的分子.
 - 一个高分子总是一个大分子, 但一个大分子不一定是高分子.
- ✦ **Polymer (聚合物)**: 是由许多聚合物分子组成的一种物质, 它是一种聚合的物质.

Automotive Plastics

Dash board (ABS)

Door rim (PP)



Console box (PP)

Brake pedal (PA)

Carry Box (ABS)

Roof rail (PC)

Spoiler (ABS)



Bumper (PP)

Over fender (PP)



高分子材料结构与性能的关系

- ✚ 结构决定性能，性能反映结构。
- ✚ 根据需要选择性能，根据性能设计结构，进而合成高分子材料，改性高分子材料。
- ✚ 高分子结构与性能的关系及其变化规律,是高分子分子设计的基础,同时也是确定高分子加工成型工艺的依据。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/426240015031010132>