

量子陶瓷

——浅谈

刘晓辉，秦伟，解士杰

山东大学物理学院

晶体材料国家重点实验室

山东大学本科生院，山东大学文学生活馆

山东大学齐鲁青年学者启动经费

国家自然科学基金

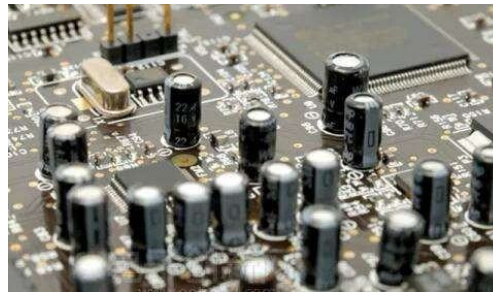
陶和瓷



- 掌握火以后，人类文明的象征之一。
- 主要成分：二氧化硅和硅酸盐（硅酸铝，硅酸钙等）。
- 陶器：600-800摄氏度。
- 瓷器：1200摄氏度以上。

广泛的应用

- 陶瓷材料是指用天然或合成化合物经过成形和高温烧结制成的一类无机非金属材料。它具有高熔点、高硬度、高耐磨性、抗氧化等优点。
- 在电性能方面有绝缘性、压电性、半导体性、磁性等；
- 在化学方面有催化、耐腐蚀、吸附等功能；
- 在生物方面，具有一定生物相容性能，可作为生物结构材料等。



为什么要烧制陶瓷？



玉



瓷

- 玉石文化和瓷器文化。
- 宝石性能优良，但是稀有，尺寸小，无法大规模应用。
- 为了获得有特种性质的材料。
- 不同的配方，温度可以获得不同的性质，以及天然没有的性质。

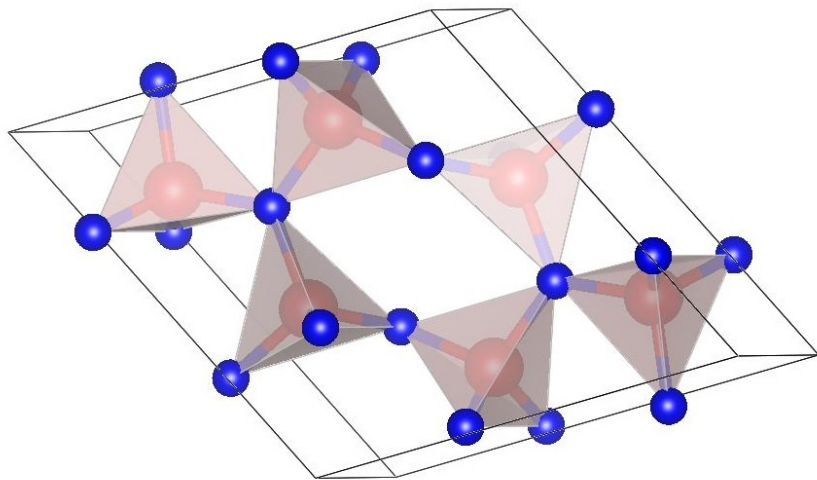
传统陶瓷材料：硅酸盐材料
绝大多数与二氧化硅有关

先进陶瓷材料：无机非金属材料

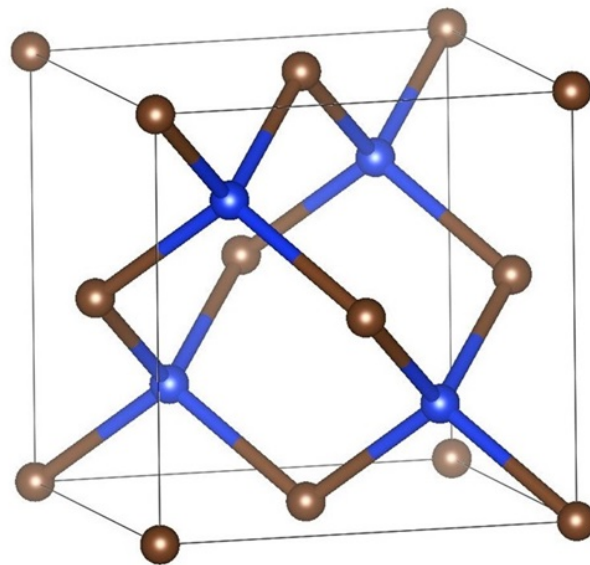
结构陶瓷：各种结构部件

功能陶瓷：利用电，磁，声，光，热等实现某种更能。

结构陶瓷



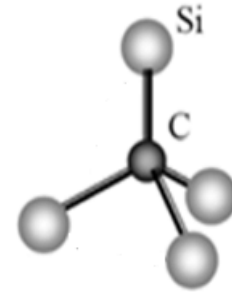
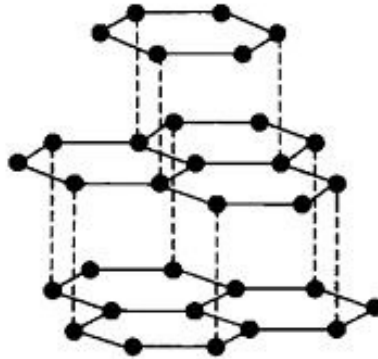
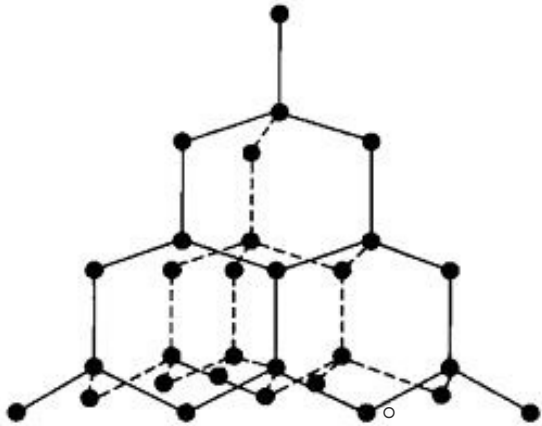
Si₃N₄



SiC

- 氮化硅 (Si₃N₄) :比钢铁硬度还要高很多, 不易磨损。
- 容易加工, 光洁度高。
- 陶瓷刀具, 磨具, 量具等。

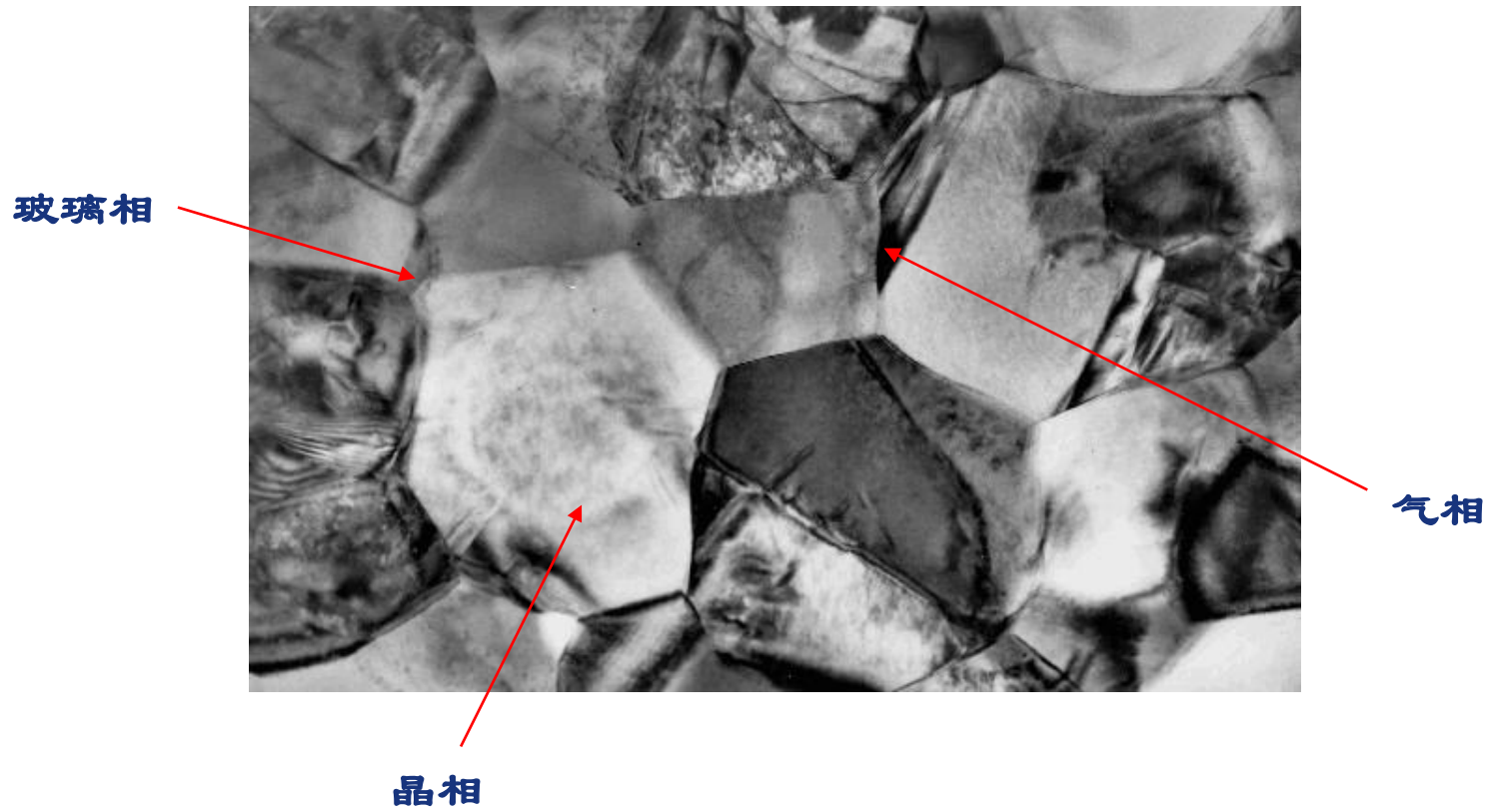
晶体：周期性的结构



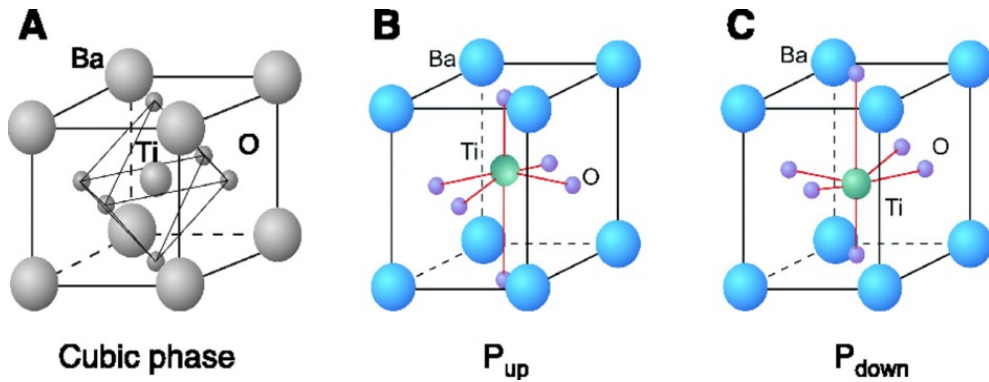
碳化硅

- 自然界中钻石很稀有，体积很小，
- 人工生长也很难达到大体积
- 烧制性能接近的陶瓷
- SiC：石英砂、石焦油（或煤炭）、木屑，高温冶炼而成。

陶瓷的结构

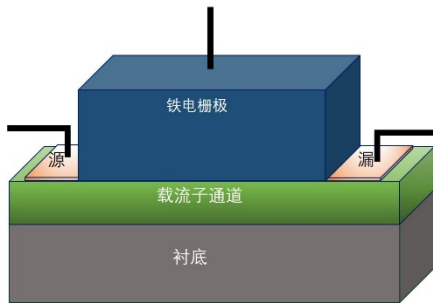


铁电陶瓷材料

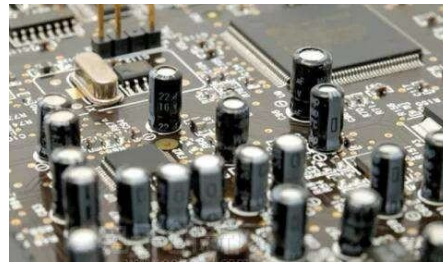


- 铁电性的发现100年
- 高温到低温，铁电相变

铁电陶瓷的应用



铁电存储器

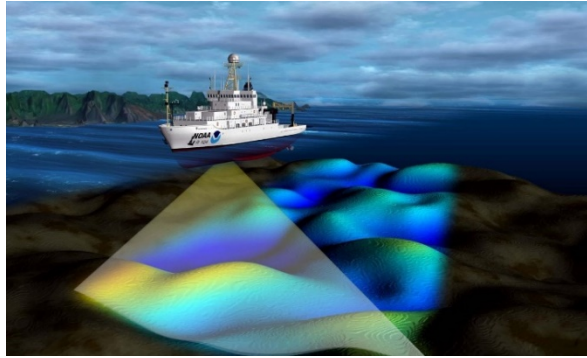
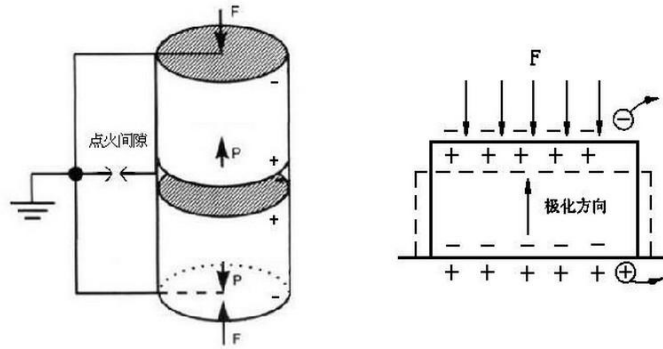


电容



红外探测器

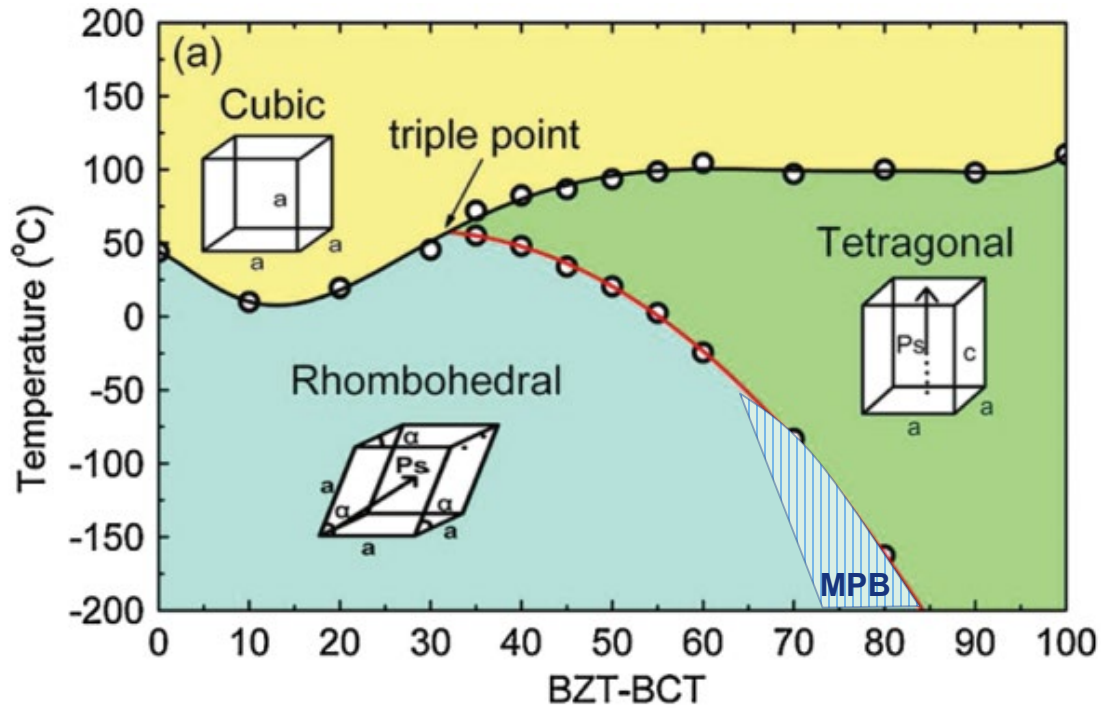
压电陶瓷的应用



- 实现压力和电能的转换
- 石英晶体每秒的振动次数高达32768次

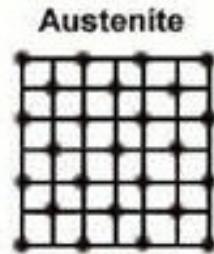
多态相边界 (MPB)

$\text{Ba}(\text{Zr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8})\text{O}_3-x(\text{Ba}_{0.7}\text{Ca}_{0.3})\text{TiO}_3$

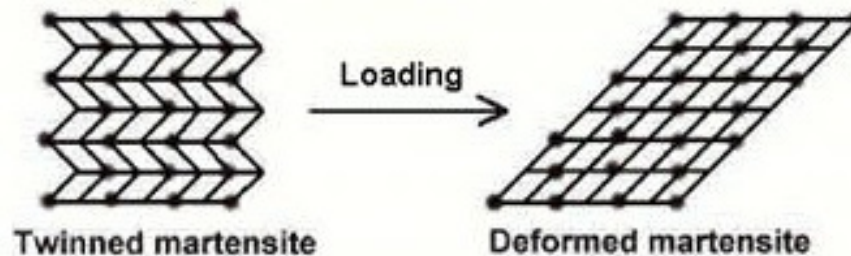


- 在MPB存在大的压电性，极化容易扭转
- 含铅的体系有比较大的压电性
- 寻找无铅体系

- 奥氏体: high symmetry, strong & compact phase at high T



- 马氏体: lower symmetry, soft & easily deformed phase at low T.



- ❑ SME in alloy was first found in Au-47.5% at Cd alloy in 1951 and was publicized by its discovery in Ti-Ni alloy in 1963.

Metal sample at room temperature



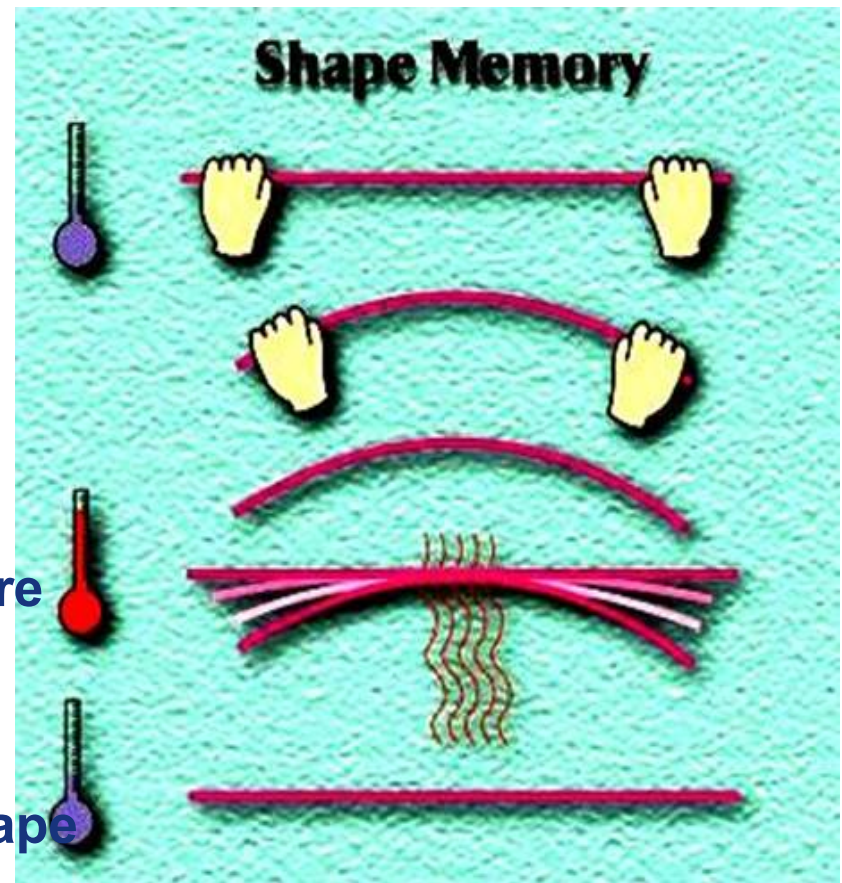
Deform the original shape of the Metal by applying stress



Heat the metal to higher temperature



The metal returns to its original shape

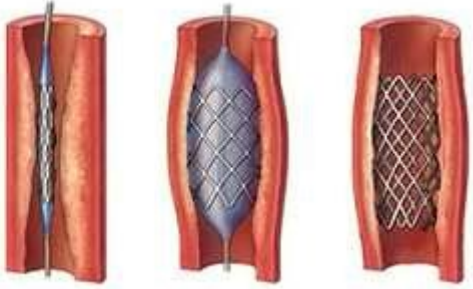
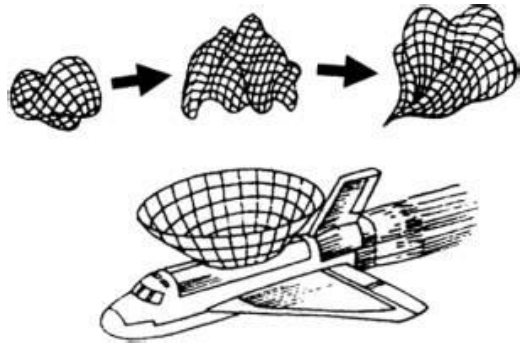
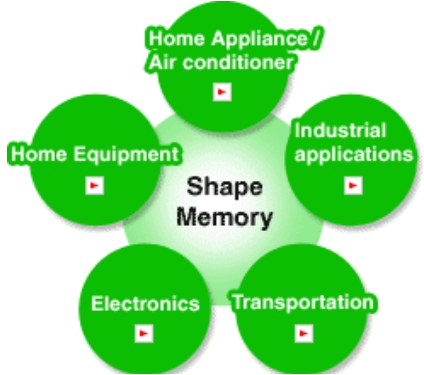
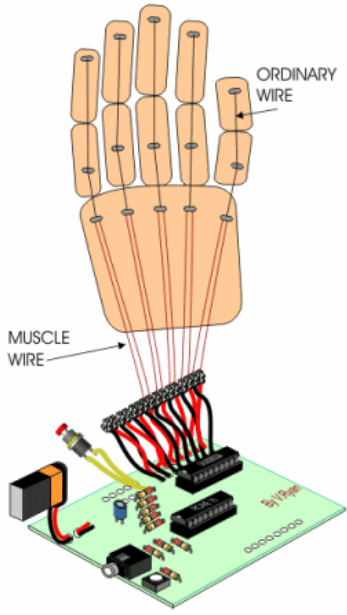


Metal systems

Polymers

Ceramics

Biological

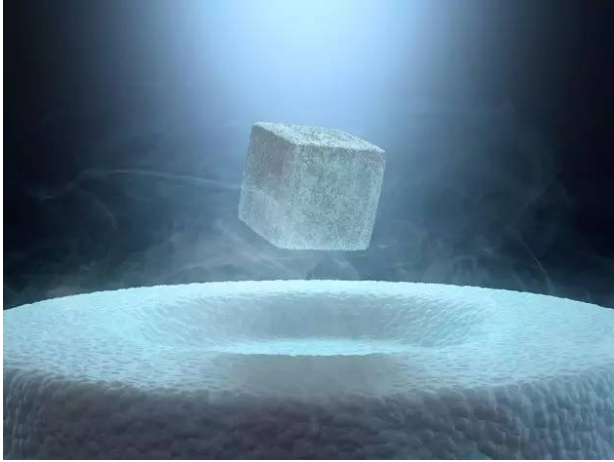


透明陶瓷材料



- ❑ 陶瓷不透明的原因是其内部存在有杂质和气孔
- ❑ 玻璃透明，因为出去了杂质和空气。
- ❑ 高纯度陶瓷材料透明，硬度高，耐腐蚀，耐高温，耐磨损
- ❑ 应用：高压钠灯灯罩，导弹防护罩，高温作业护目镜，防弹玻璃，扫码窗口
- ❑ 与单晶相比，透明陶瓷制造成本低、易于大批量生产，可以制成尺寸较大、形状复杂的制品；而与玻璃相比，透明陶瓷具有强度和硬度高、透明度高、导热性好、耐腐蚀等优点。

高温超导陶瓷材料



- 1911年，水银发现超导，4.2K。
- 1957年，BCS理论，不超过40K。
- 1980年代，铜氧化物陶瓷材料，92.9K（液氮临界温度77K）。
- 1990年代，超过130K。
- 2015年，超过200K。

最低温度0K，相当于零下273摄氏度。

□ 现在高临界温度（90开以上）的超导陶瓷材料组成有 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ， $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ ， $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ 等。

磁悬浮列车，输电，超导计算机等等

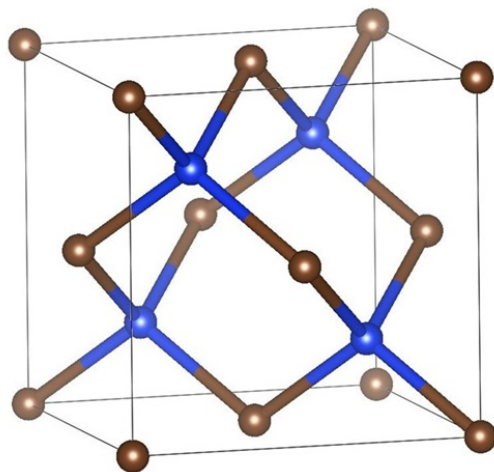
稀土在陶瓷材料中的应用

如果说石油是工业的血液，那稀土就是工业的维生素

- 应用于玻璃陶瓷的除色，以及制作不同用途玻璃，如放红外，紫外，X射线等
- 陶瓷工业减轻釉质的碎裂，增加光泽，调色
- 稀土陶瓷颜料：错
- 功能符合陶瓷：铁电+超导陶瓷
- 磁性陶瓷材料：磁致冷
- 钛酸铅（PZT）陶瓷中添加稀土：电光陶瓷+形状记忆功能，自我恢复的智能陶瓷。
- 由于稀土元素可使陶瓷表面增强抗菌性能。

碳化硅半导体

第一代半导体材料（大部分为目前广泛使用的高纯度硅），第二代化合物半导体材料（砷化镓、磷化铟），第三代化合物半导体材料（碳化硅、氮化镓）。碳化硅因其优越的物理性能：高禁带宽度（对应高击穿电场和高功率密度）、高电导率、高热导率，将是未来最被广泛使用的制作半导体芯片的基础材料。



更高的工作电压、更大的电流承载能力、更高的工作频率、更高的效率、更高的工作温度、更强的散热能力和更高的可靠性。

小结

传统陶瓷材料：硅酸盐材料



功能陶瓷



结构陶瓷



尖端领域

