

江西理工大学
JIANGXI UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY



第二章 金属与合金的晶体结构

目 录

§ 2.3 合金的晶体结构

§ 2.4 实际金属的晶体结构

2.3合金的晶体结构

纯金属的结构类型：

FCC 、 BCC、 HCP

纯金属种类有限，力学性能低，冶炼困难，在工业上的使用范围有限。

由此引入合金体系

1. 基本概念

■ **合金**：由两种或两种以上的金属元素或金属元素与非金属组成的**具有金属特性的物质**称合金。

最广泛的**铁碳合金**、铜锌组成的**黄铜合金**等。实际生产过程中通过化学成分或组织结构的变化来提高金属材料的力学性能（如强度、硬度），并可获得某些特殊的物理和化学性能（如耐蚀性、耐磨性和耐热性），所以在工业上得到广泛应用。

■ **组元**：组成合金最基本、独立的物质。通常是纯元素，也可以是稳定的化合物。由两个组元组成的合金称为二元合金；由三个组元组成的合金称为三元合金，以此类推。

各组元间由于物理和化学方面的相互作用，就可以形成各种“相”。



■ **相**：在金属或合金中，凡成分（组元）相同、结构相同，而且与其它部分由界面分开的均匀组成部分，称为相

■ 组元：组成合金最基本、独立的物质。可以是元素纯金属，也可以是化合物。

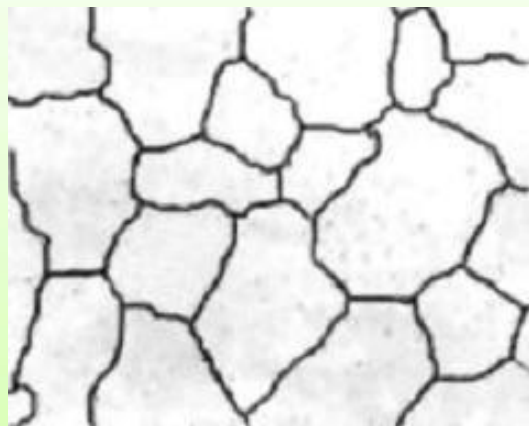
区别

■ 相：在凡成分（组元）相同、结构相同，而且与其它部分由界面分开的均匀组成部分，称为相

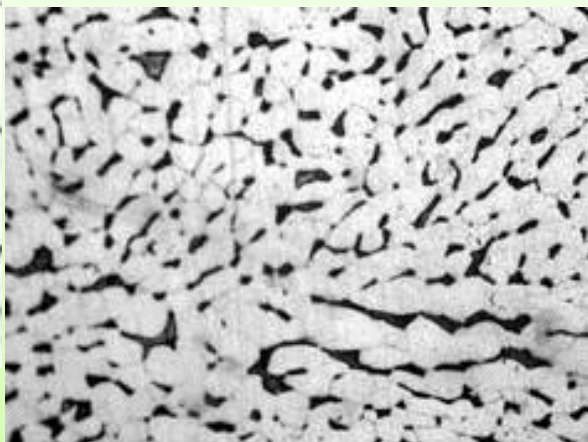
冰水 混合物是一元两相

过饱和糖水为两元两相，即水和糖2种单质，饱和糖水溶液、结晶析出的固体糖

由一种相构成合金的叫**单相合金**，双相构成的叫**双相合金**，多相就称之为**多相或复相合金**

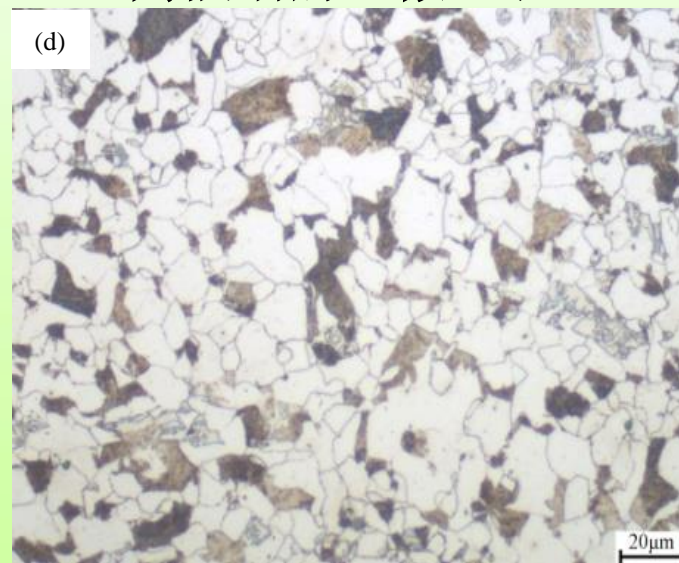


纯铁单相显微组织



两相黄铜的显微组织

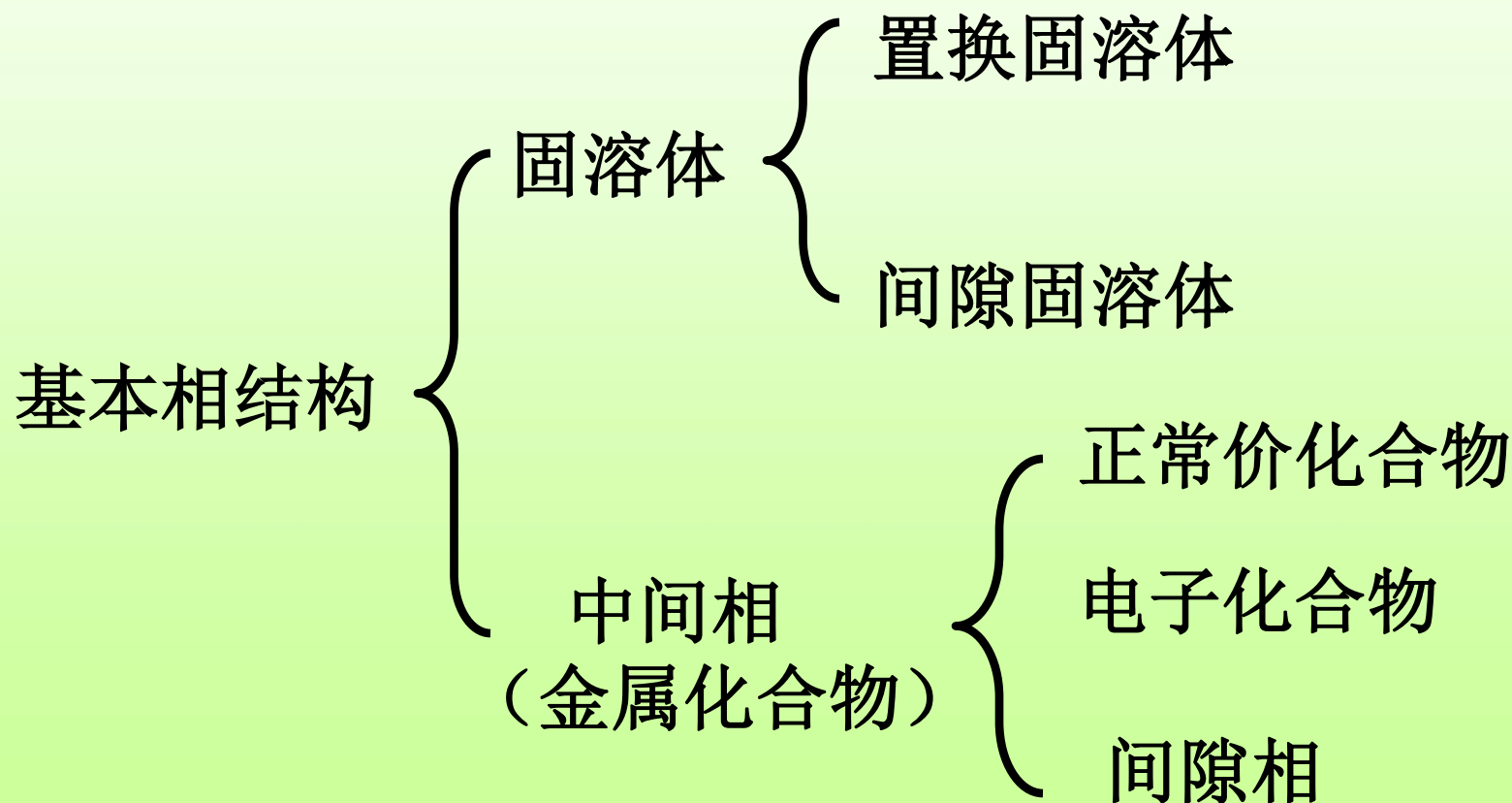
高强钢的显微组织



■ **组织**：是观察到的在金属及合金内部组成相的大小、方向、形状、分布及相互结合状态。

2. 合金的相结构

在固态材料中，按相的晶格结构的基本属性来分，可分为**固溶体**和金属化合物两大类。



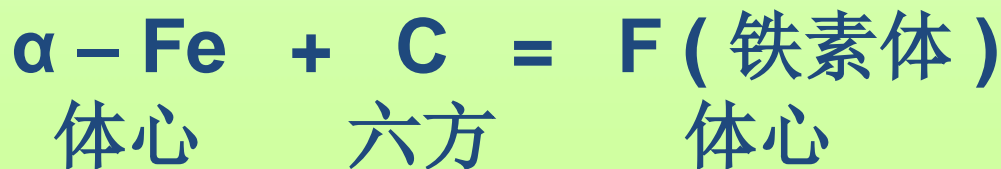
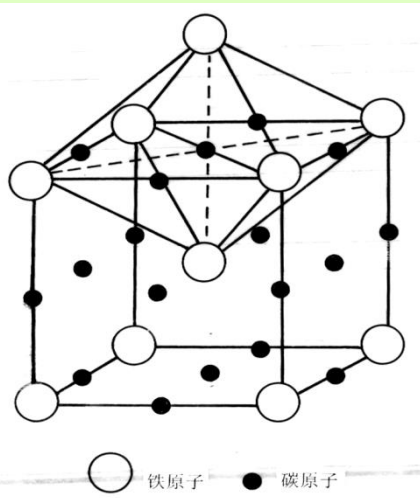
2. 合金的相结构

固溶体

金属间化合物

固溶体：合金在固态下，组元间仍能相互溶解而形成的均匀相。固溶体的晶格类型和其中某一组元的晶格类型相同。

- **溶剂**：保留本身晶体结构的组元为溶剂，在固溶体 中含量较多。
- **溶质**：解散本身的结构以原子的形式分散到晶格中，在固溶体中含量较少。



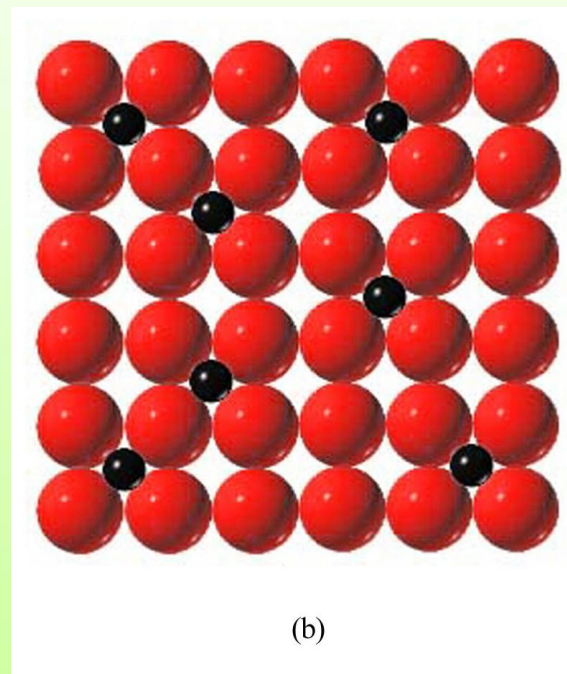
2.1 固溶体的分类

间隙固溶体

置换固溶体

◆按溶质原子在溶剂晶格中所占的位置分类

间隙固溶体：当溶质原子并不占据溶剂晶格中的某些结点位置时，而是处于溶剂原子空隙中时，所形成的固溶体为间隙固溶体。如Fe与C、N、O、H等。一般为有限固溶体

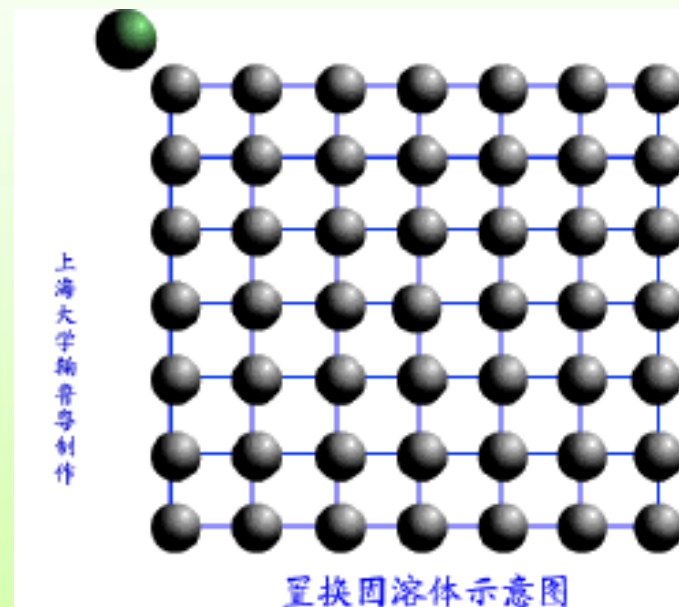


- ◆一般能形成间隙固溶体的原子尺寸都比较小。
- ◆间隙固溶体一般为有限固溶体。

2.1 固溶体的分类

◆ 按溶质原子在溶剂晶格中所占的位置分类

置换固溶体：当溶质原子由于代替了一部分溶剂原子而占据着溶剂晶格中的某些结点位置时，所形成的固溶体称为置换固溶体。如Fe与Mn、Si、Al、Cr、Ti、Nb等，Cu与Ni等。在一定条件下可为无限固溶体



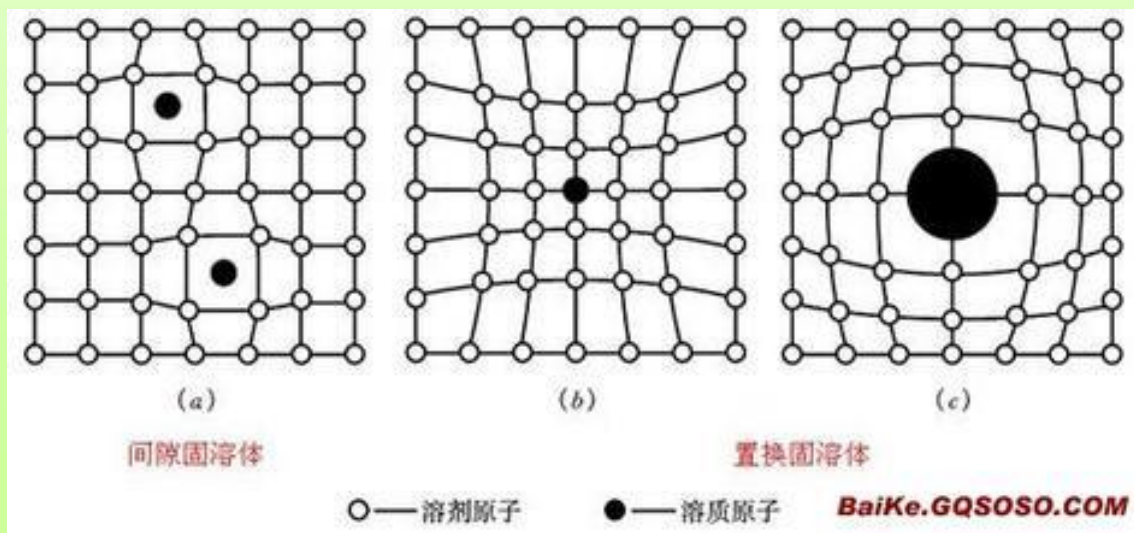
原子直径差别小，周期表中位置靠近，溶解度大

水和乙醇无限互溶

铜镍在高温下无限互溶

固溶强化

- 由于溶质与溶剂原子半径不同，因而在溶质原子附近的局部范围内形成弹性应力场，造成**晶格畸变**。
- 由于固溶体的晶格发生畸变，使塑性变形抗力增大，结果使**金属材料的强度、硬度增高**。
- 通过溶入**溶质元素形成固溶体**，使金属材料的**强度、硬度升高的现象，称为固溶强化**。



纯铜抗拉强度 220MPa, 硬度40HBS, 断面收缩率 ψ 70%。加入1% 镍, 抗拉强度变为390MPa, 硬度为70HBS, 断面收缩率50%,

固溶强化原因:

◆ 晶格畸变

◆ 位错运动受阻, 或被钉扎

注意: 固溶强化是提高金属材料力学性能的重要途径之一

2.2 合金的相结构

金属间化合物

定义：两组元A和B组成合金时，形成固溶体（有限固溶体），当溶质含量超过其溶解度时，可能形成**新相（化合物）**，其成分处于A在B中或B在A中最大溶解度之间，故称金属化合物。

注：该新相的**晶格类型与组成化合物各组元的晶格类型完全不同**。

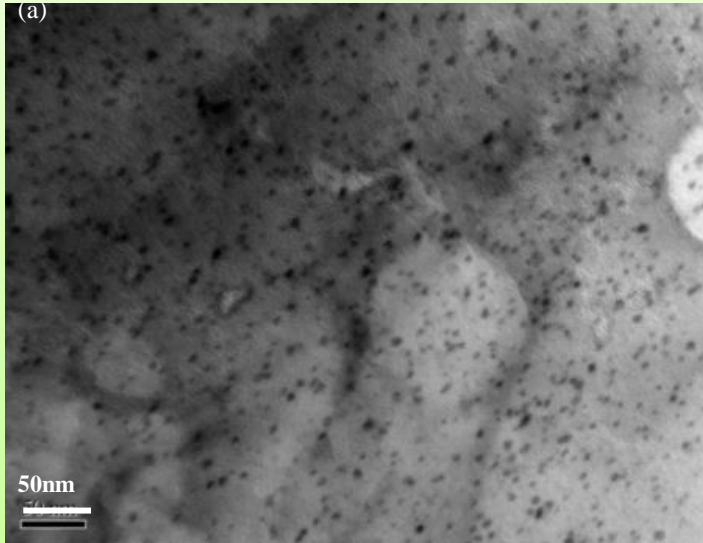
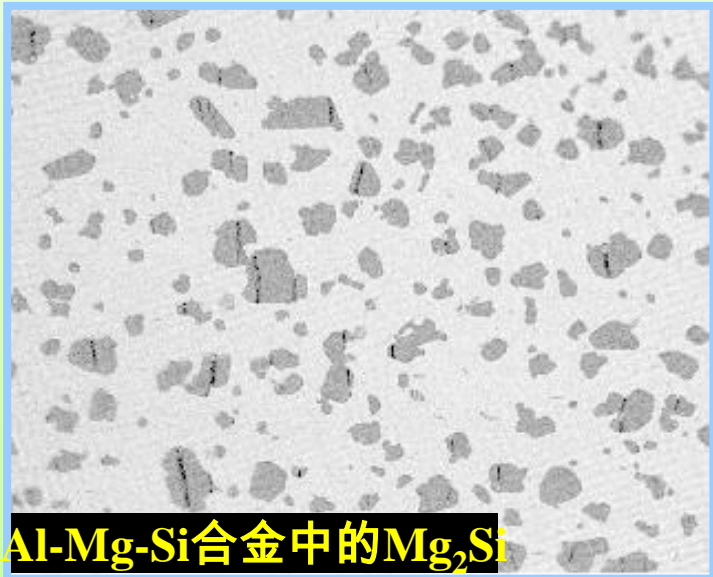
金属化合物分类：

- ◆ 正常价化合物
- ◆ 电子化合物
- ◆ 间隙化合物

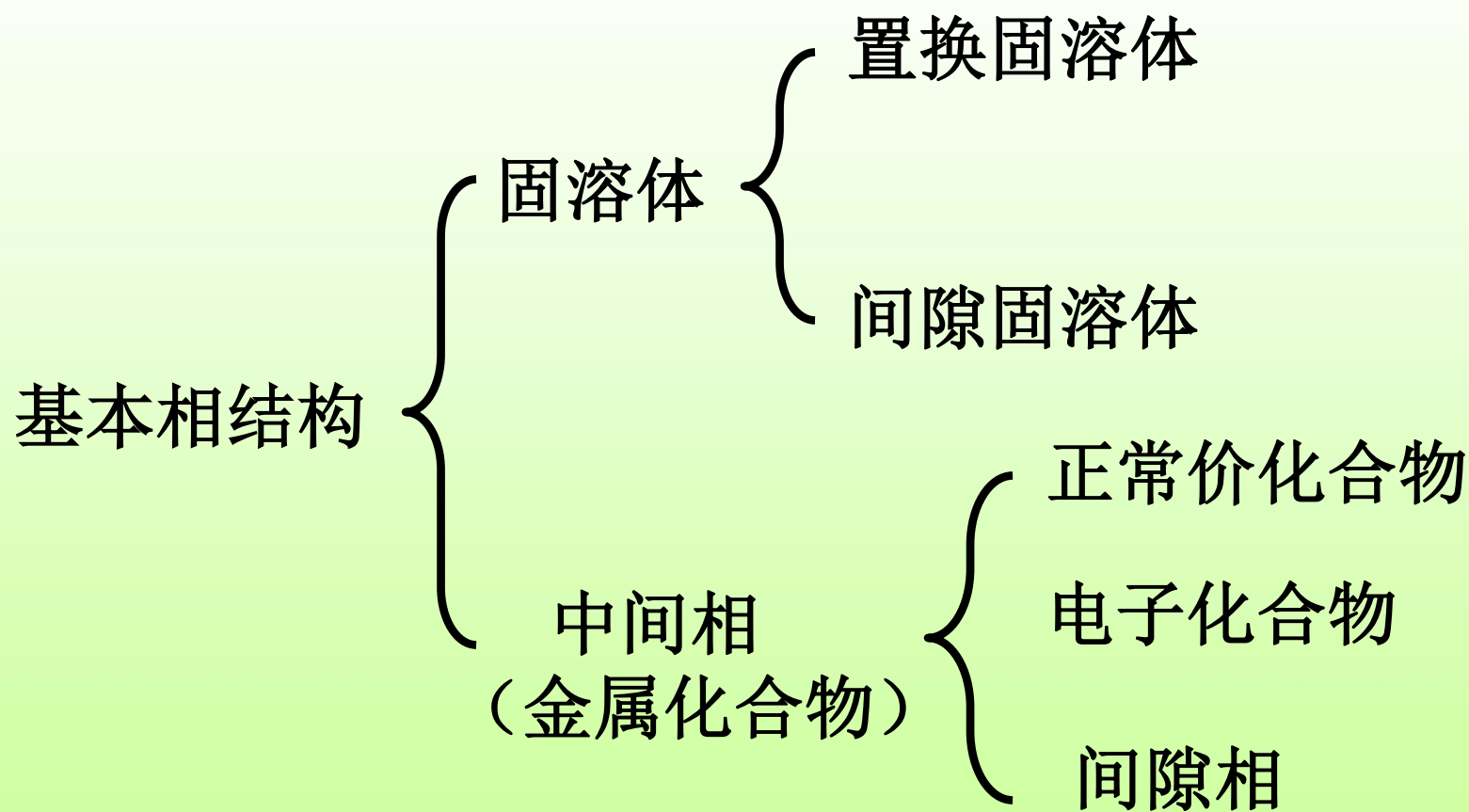
称为化合物，则A/B一定有一个固定的配比，也就是说可以用分子式表示，例如 M_7C_3 ， $M_{23}C_6$ 等

弥散强化

金属化合物一般熔点高，性能硬而脆，当它呈细小颗粒均匀分布在固溶体集体上，将使合金的强度、硬度、耐磨性等明显提高，这种强化方式为弥散强化。



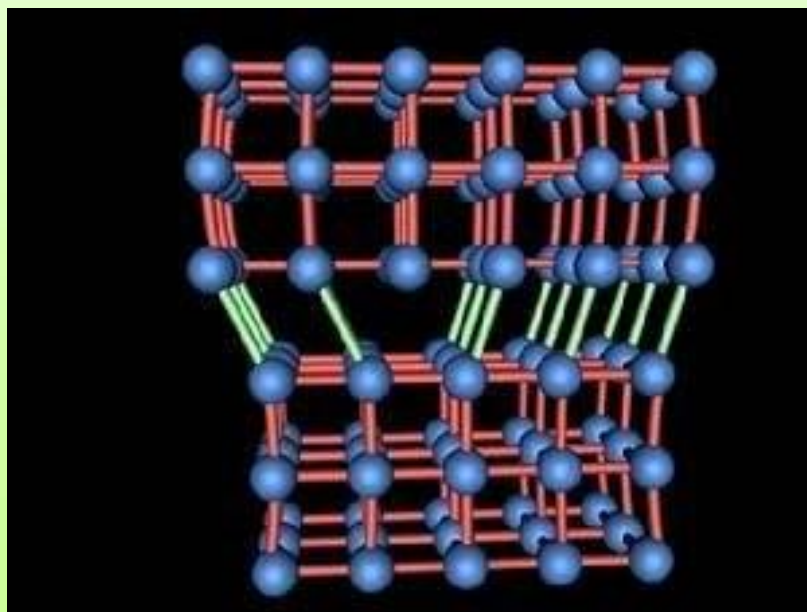
小结



2.4 实际金属的晶体结构

(1) 晶体缺陷

晶体缺陷：由于种种原因，在晶体内部某些局部区域，原子的规则排列往往受到干扰而被破坏，不像理想晶体那样规则和完整。通常把这种区域称为晶体缺陷。通常会影响材料的扩散、相变及性能。对晶体缺陷的研究与控制，往往能优化材料的组织性能。



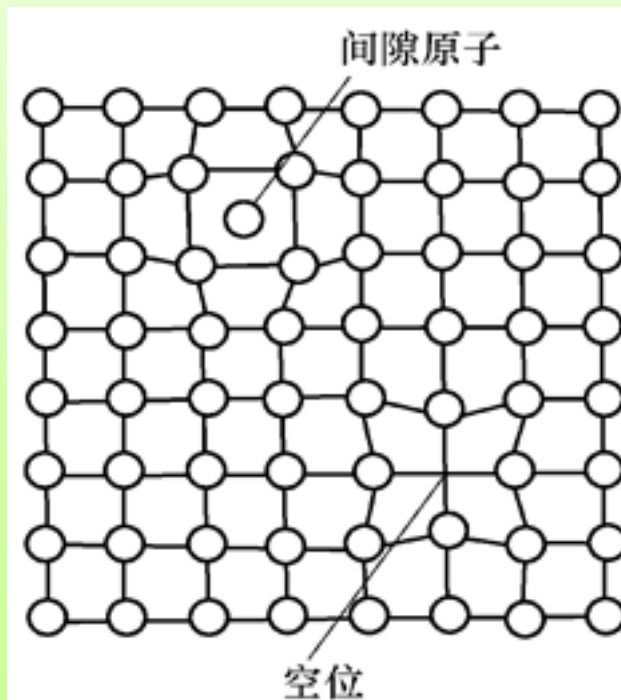
- ◆ **点缺陷**：在三维空间各方向上尺寸都很小的缺陷。
(0维缺陷) **如空位、间隙原子。**
- ◆ **线缺陷**：在两个方向上尺寸很小，而另一个方向上尺寸较大的缺陷（1维缺陷）。**主要是位错。**
- ◆ **面缺陷**：在一个方向上尺寸很小，在另外两个方向上尺寸较大的缺陷（2维缺陷）。**如晶界、亚晶界等。**

点缺陷

产生原因：材料在结晶过程中，**在高温、辐射以及外力（粒子轰击、冷加工）**等作用下，晶体中就会产生点缺陷。

空位：在实际晶体结构中，晶格的某些结点，往往未被原子所占有，这种空着的位置称为空位。

间隙原子：在个别晶格空隙处出现多余的原子，这种不占有正常的晶格位置，而处在晶格空隙之间的原子称为间隙原子。（可以是正常原子也可以是外来杂质。）

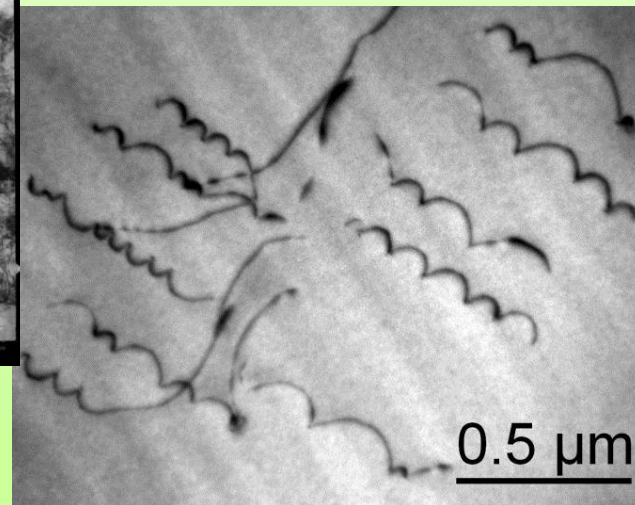
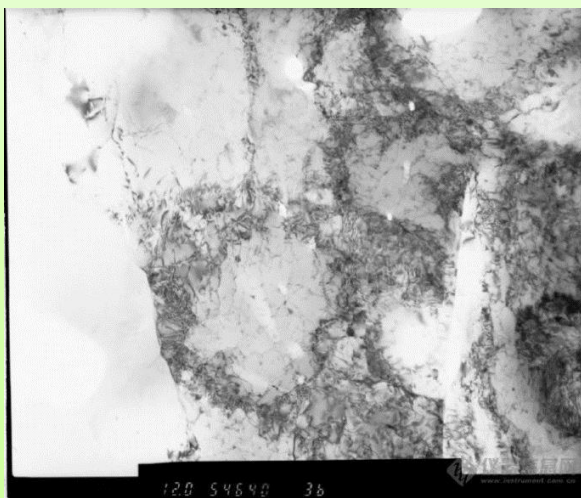
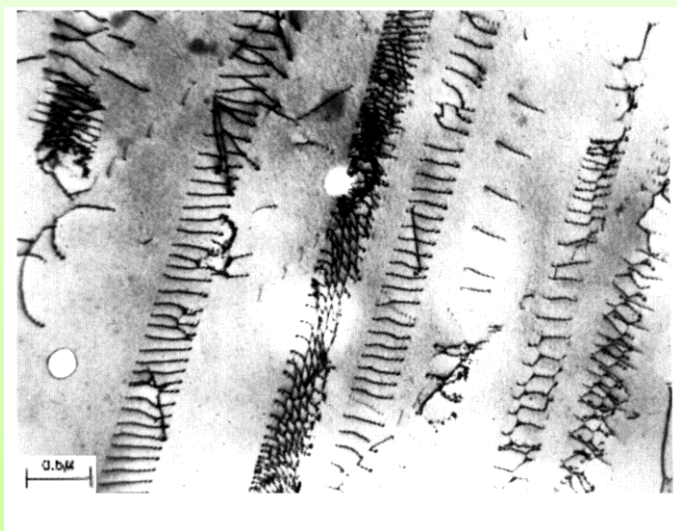


点缺陷对性能的影响

- ◆ 点缺陷的存在，使得原子平衡被破坏，周围原子离开了原来的位置，产生晶格畸变。
- ◆ 晶格畸变可以**提高强度、硬度和电阻**。
- ◆ 空位和间隙原子的运动是金属原子扩散的主要方式之一。

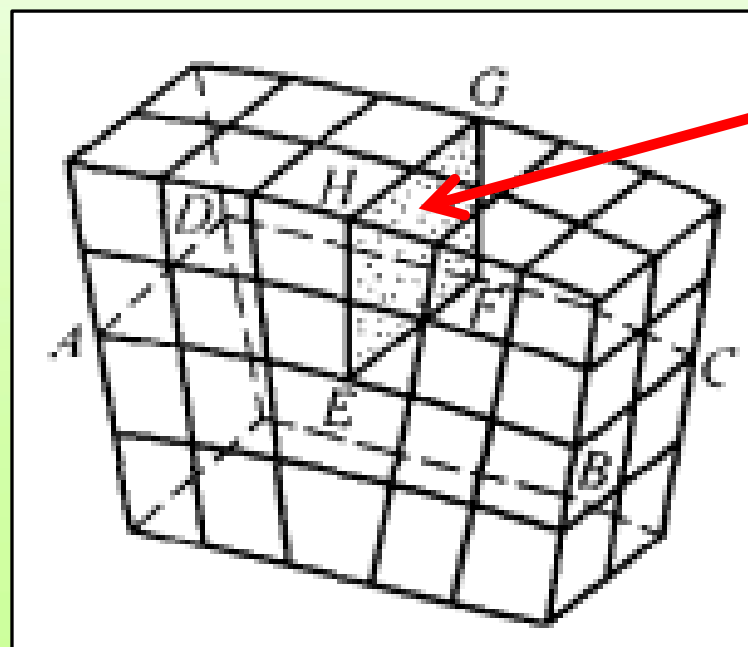
线缺陷

◆晶体中，某处有一列或若干列原子发生有规律的错排现象，称为位错。它的结构特点是在两个空间方向尺寸较小，在某一个方向尺寸较大。

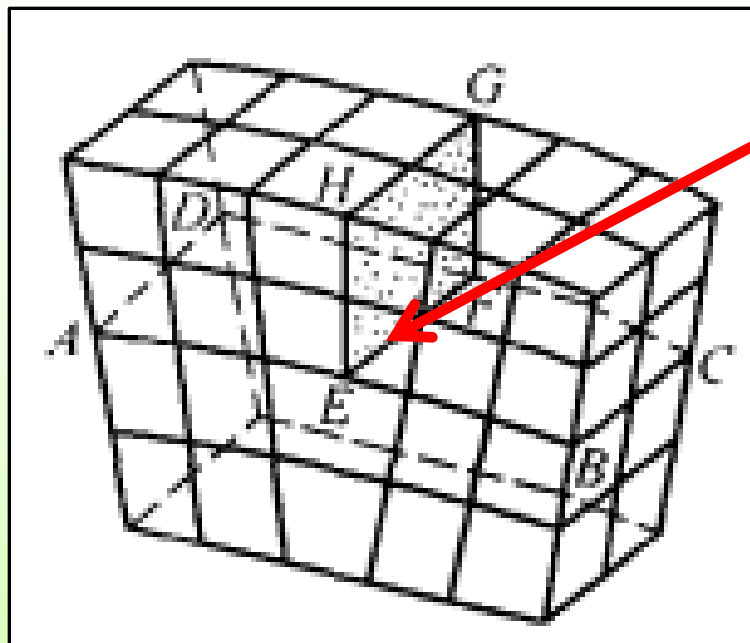


刃型位错

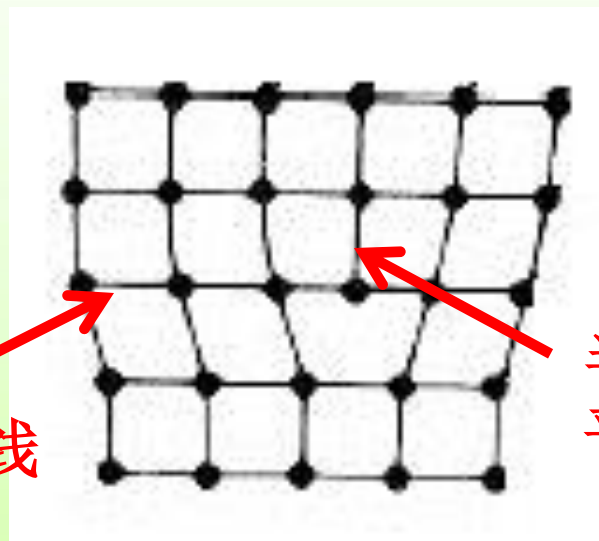
在某一个水平面以上多出了垂直方向的原子面EFGH，它中断于ABCD面的EF处，犹如插入的刀刃一样，EF称之为刃型位错线。位错线附近区域发生了原子错排，将半原子面及其周围区域，统称为“刃型位错”。



刀刃



EF: 位错线, t



滑移线

半个原子
平面

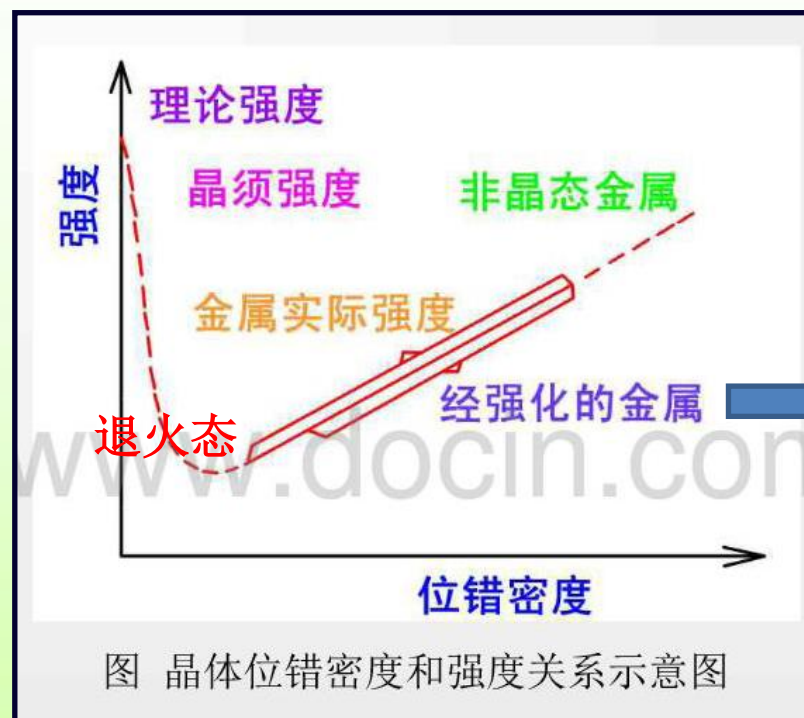


晶体上半部多出原子面的位错称为正刃位错，“ \perp ”；反之为负刃位错“ Γ ”

◆ 晶体中所含位错的多少可用位错密度来表示。
位错密度定义为**单位体积晶体中所含位错线的总长度**，其表达式为

$$\rho = \frac{S}{V} (cm / cm^3)$$

位错密度可以用透射电镜、金相等方法测定，一般退火金属中位错密度为 10^5 - 10^6 / cm^2 ，剧烈变形可以使密度增加到 10^{10} - 10^{12} / cm^2 。



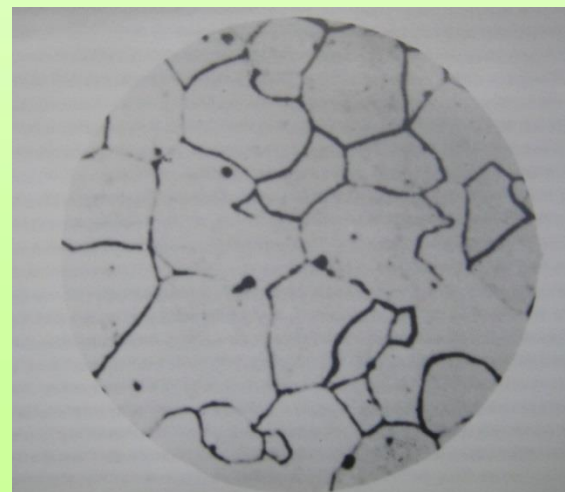
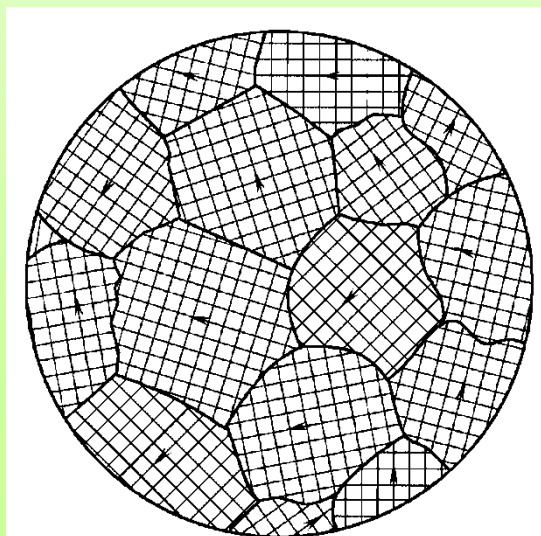
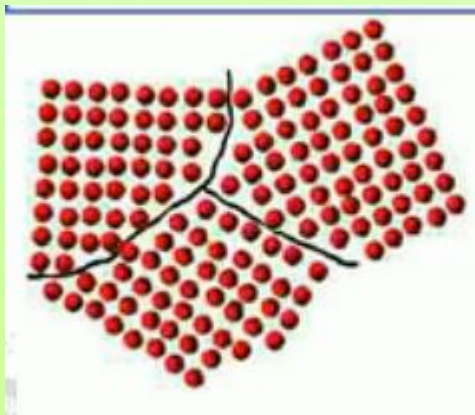
退火态强度最低，增加或降低位错密度均能提高强度。

注意：位错强化也是一种常用的金属强化手段。

面缺陷—晶界与亚晶界

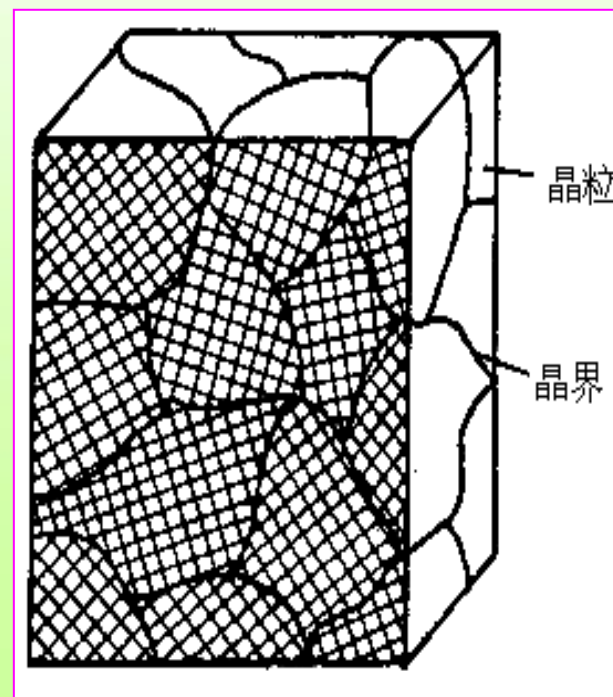
晶粒：实际使用的工业金属材料，即使体积很小，其内部仍包含了许多颗粒状的小晶体，每个小晶体内部的晶格位向是一致的，而各个小晶体彼此间位向都不同，这种外形不规则的小晶体通常称为晶粒。

晶界：多晶粒由许多晶粒组成，每个晶粒是一个小单晶。相邻晶粒的位向不同，其交界面称为晶粒界，简称晶界

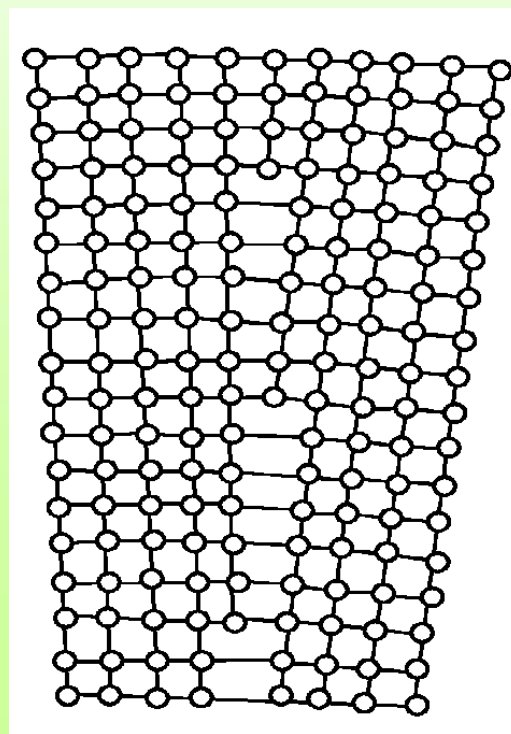
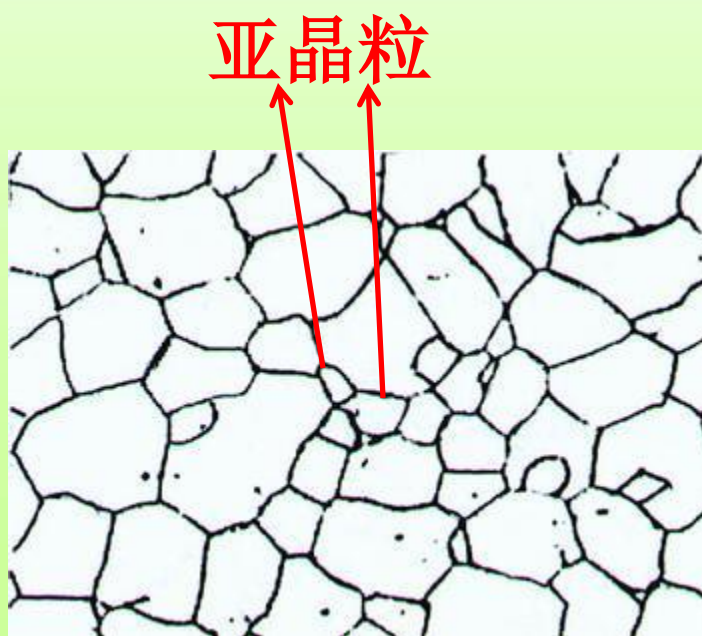


晶界处原子必须从一种位向逐步过渡到另一种位向，使晶界成为不同位向晶粒之间，原子排列无规则的过渡层。

晶界处原子排列不规则，即晶格处于畸变状态



每个晶粒又由若干个尺寸更小，位向差也很小的
小晶块所组成，它们镶嵌成一颗晶粒，这些小晶块称
为**亚晶**，相邻亚晶粒间的界面称为**亚晶界**。



- 亚晶界和晶界一样，原子排列不规则，处于原子畸变状态。
- 两者均能提高强度和硬度，晶界和亚晶界处容易腐蚀，熔点低，原子扩散速度快等。
- 细晶强化是材料又一重要的强化手段，提高强度同时提高塑性。

本章重点掌握内容

- 1、名词：
晶体、合金、固溶体、相、晶界、
- 2、常见的晶体结构类型及其原子数、致密度
- 3、金属的晶体缺陷按其几何特征可分为哪几种，举出典型的例子。
- 3、晶面指数、晶向指数的表示方法
- 4、固溶体的分类及其与金属化合物的区别

名词解释、填空、是非判断、问答、计算、画图及论述题

