

材料科学基础知识点总结

绪论：材料概述及分类

合金：有两种或者两种以上的金属或者金属与非金属经熔炼、烧结或其他方法组合而成并具有金属特性的物质。

固溶体：以合金中某一组元作为溶剂，在其晶体点阵中融入其它组元原子，所形成的与溶剂有相同晶体结构、晶格常数稍有变化的固态溶体。

置换固溶体：当溶质原子溶入溶剂中形成固溶体时，溶质原子占据溶剂点阵的阵点，或者说溶质原子置换了溶剂点阵的部分溶剂原子，这种固溶体称为置换固溶体。

间隙固溶体：溶质原子分布于溶剂晶格间隙而形成的固溶体称为间隙固溶体。

金属间化合物：金属和金属之间，类金属和金属原子之间以共价键形式结合生成的化合物总称为金属间化合物，由于金属间化合物在合金相图中处于相图的中间位置，故也称为中间相。

形成无限固溶体的条件是（即休姆 - 罗瑟里规则）：

溶质和溶剂的尺寸差别必须不大于 15%, 即 $r_1 - r_2/r_1 \leq 15\%$

两类原子的电负性必须相近。

两类原子的价必须相似。

两个组分必须具有完全相同的晶体结构类型。

热塑性聚合物：具有线性和支化高分子链结构，在共价键聚合链间具有二次键，加热后会变软，可反复加热和再成形，例如，PE。

热固性聚合物：具有三维共价键网结构，不溶于任何溶剂，也不能熔融，加热时维持原有形状并降解——烧焦或燃烧，一旦定型后不能再改变形状，无法再生，例如，橡胶。

相关真题：

2009 年论述题 5. 试从结合键的角度分析工程材料的分类及特点。（15 分）

答：金属材料：简单金属（指元素周期表上的主族元素）的结合键完全为金属键，过渡族金属的结合键为金属键和共价键的混合，但以金属键为主；特点：大多数金属强度和硬度较高，塑性较好。

陶瓷材料：是由一种或者多种金属同一种非金属（通常为氧）相结合的化合物，其主要结合方式为离子键，也有一定成分的共价键，特点：硬、脆，不易变形，熔点高。

高分子材料：大分子内的原子之间的结合方式为共价键，而大分子与大分之间的结合键

为范德瓦尔键和氢键。特点：有很高的分子量，质轻，密度小，有优良的力学性能、绝缘性能和隔热性能。

复合材料：是由两种或者两种以上的材料组合而成的物质，结合键种类繁多，非常复杂，性能差异也很大。

2011 年简答题（10 分）10. 为什么固溶体强度比纯金属的高？

答：因为合金两类原子尺寸不同，引起点阵畸变，阻碍位错运动，造成固溶强化。

2012 年简答题（10 分）5. 按照形成固溶体的条件来讨论 MgO-CaO 能形成何种固溶体。

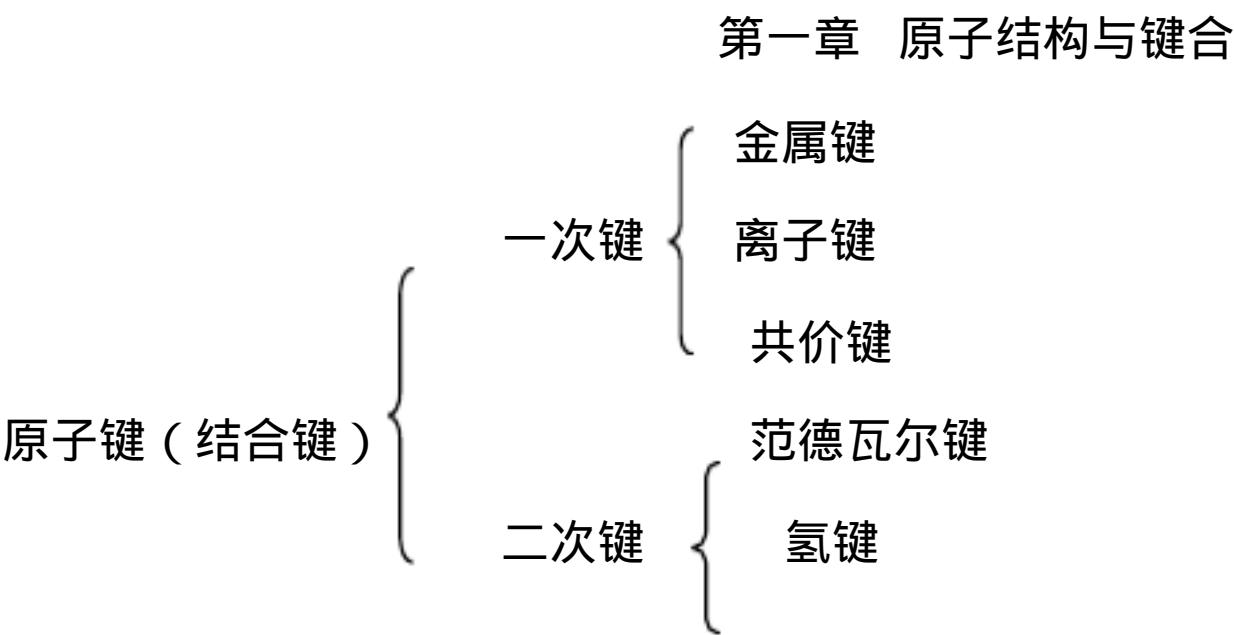
已知 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 离子的半径分别为 0.1nm 和 0.071nm，Ca 和 Mg 的电负性分别为 1.0 和 1.2。

答：尺寸： $(0.1-0.072)/0.1=28\%>15\%$ ，不符合休姆 - 罗瑟里规则；电负性：Ca 的电负性分别为 1.0 和 Mg 的电负性分别 1.2，同一周期上下，接近。晶体结构： MgO 和 CaO ，都为 FCCNaC 结构。电子浓度：价电子数相同。

综上所述，根据形成无限固溶体的条件知， MgO-CaO 不能形成无限固溶体，可以形成有限固溶体。

补充试题：1. 比较固溶体和金属间化合物在成分、结构和性能方面的差异。

类别	成分	结构特点	力学性能特点
固溶体	溶质浓度可在固溶度范围内变化	保持溶剂的点阵类型	强度、硬度比溶剂高，但总体看强度硬度依然很低，而塑性、韧性较好
金属间化合物	成分固定或在一定范围内波动，可用化学分子式表示	其点阵类型不同于组成它的任一组元	熔点较高、硬度高，而塑性、韧性差



所有的一次键都涉及到或者电子从一个原子向另一个原子的转移，或者电子在原子间的共用。

金属键的本质：金属正离子与自由电子之间的相互吸引。

离子键的本质：正电性原子和负电性原子之间的相互吸引。

共价键的本质：共价电子对的结合。

二次键与一次键的根本区别就是二次键既不涉及电子的转移，也不涉及电子的共用，二次键是来源于某些原子或分子中形成的电偶极子。一次键通常比二次键强一至两个数量级。

金属键：金属正离子与自由电子之间的相互作用构成的金属原子间的结合力称为金属键。

离子键：电子由正电性原子向负电性原子的转移形成离子键，离子键无方向性和饱和性。

（影响因素：原子间的高电负性差值有利于离子键的形成）

共价键：相邻原子由于共享电子对所形成的价键，具有饱和性和方向性。

键-能曲线：将一对原子或离子有关的能量描述为两原子或离子之间距离的函数的关系曲线称为键能曲线，它是键-力曲线的积分。利用键-能曲线，可以估算键能、平均键长、弹性模量和线膨胀系数等。其他外力或能源（如：施加外载荷、电磁场或温度变化）作用于系统，键长和有效键能就有可能改变，从而改变键能曲线图。

在 X_0 处 $U(x)$ 的大小，即能量势阱的深度，就是键的固有强度，即键能的度量；另，平衡间距 X_0 （原子之间中心到中心的平均距离）对应于键长。键能曲线在 X_0 处的曲率正比例弹性模量，曲率半径越小，弹性模量越大，刚度越大。物理解释：能量势阱的两壁越陡，将原子从平衡位置移动所需的能量越大。线膨胀系数 α 随键能曲线的不对称的增大而增大。

2009 年简答题 (10 分) 1. 一次键的种类及其本质是什么？

2009 年论述题 (15 分) 1. 什么是键能曲线？利用键能曲线可以得到材料的哪些特性参量。采用哪些方法可以改变键能曲线的形状？

解：略；略；其他外力或能源（如：施加外载荷、电磁场或温度变化）作用于系统，键长和有效键能就有可能改变，从而改变键能曲线图。

2010 年简答题 (10 分) 1. 说明离子晶体、共价晶体和金属晶体中原子间的键合特征。影响原子间成键类型的重要因素有哪些？

离子晶体一定含有离子键，可能含有共价键；共价晶体只含有共价键；金属晶体：简单

金属晶体只含有金属键，过渡族金属晶体含有金属键和共价键，以金属键为主。

键合特征

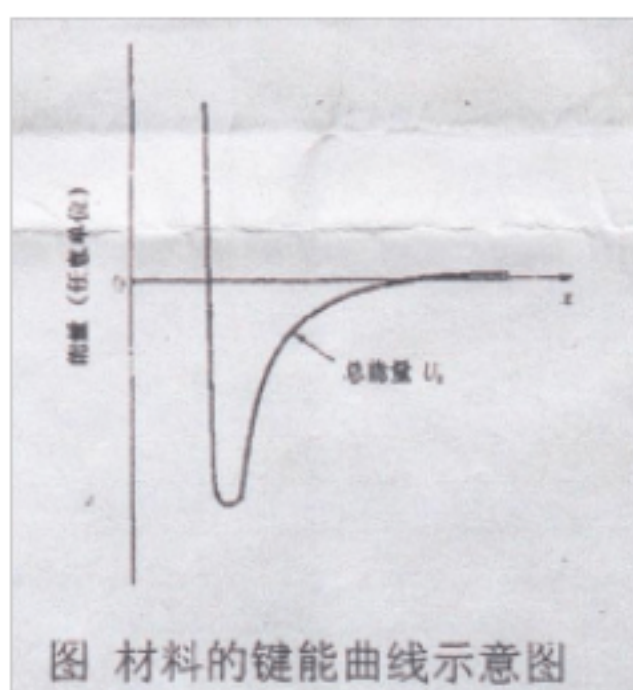
离子键：以离子而不是以原子为结构单元，无方向性和饱和性。

共价键：共用电子对，有饱和性和方向性。

金属键：电子共有化，无饱和性和方向性。

影响原子间成键类型的重要因素：电负性 价电子数。电负性相差大、价电子数相差很小容易形成离子键，电负性相差小、价电子数相差很大容易形成共价键，电负性相差不大不小、价电子数相差很小容易形成金属键。

2010 年简答题 (10 分) 2. 如何根据材料的键能曲线来判断材料的弹性模量、膨胀系数的大小？



弹性模量：曲率半径越小，弹性模量越大，刚度越大。物理解释：能量势阱的两壁越陡，将原子从平衡位置移动所需的能量越大。

线膨胀系数 α_{th} ：随键能曲线的不对称的增大而增大。

2011 年论述题 (15 分) 1. 定性比较陶瓷材料、金属材料和高分子材料的弹性模量高低，并从材料中结合键的角度分析存在差异的原因。

答：弹性模量是表征材料在发生弹性变形时需要施加力的大小。在给定应力下，弹性模量大的材料只发生很小的弹性应变，而弹性模量小的材料则发生比较大的弹性应变。

结合键能是影响弹性模量的主要因素，结合键之间的结合键能越大，则弹性模量越大。

由于陶瓷材料主要含有离子键和共价键，金属材料主要含有金属键，而高分子材料分子之间主要是二次键起作用，而结合键能的大小顺序是离子键最高，共价键次之，金属键

第三，二次键最弱，所以这三种材料的弹性模量由高到低依次是：陶瓷材料、金属材料、高分子材料。实际上，常见的陶瓷的弹性模量为 250 ~ 600 GPa, 常见的金属材料的弹性

模量为 $70 \sim 350\text{GPa}$, 而高分子材料的弹性模量为 $0.7 \sim 3.5\text{GPa}$

2012 年简答题 (10 分) 1. 简述一次键和二次键的本质特点, 并从结合键的角度讨论金属的力学性能。

所有的一次键都涉及到或者电子从一个原子向另一个原子的转移, 或者电子在原子间的共用。二次键与一次键的根本区别就是二次键既不涉及电子的转移, 也不涉及电子的共用, 二次键是来源于某些原子或分子中形成的电偶极子。一次键通常比二次键强一至两个数量级。

金属材料的结合键主要以金属键为主, 而金属键是金属正离子与自由电子之间的相互作用, 金属键无饱和性和方向性, 因此金属对外力响应时无需考虑电荷的性质, 因而原子间可以相对滑动, 并且吸收冲击能量而不至于破坏金属键, 所以金属材料的强韧性好, 塑形成形能力强。

第二章 晶体学基础

空间点阵: 组成晶体的粒子 (原子、离子或分子) 在三维空间中形成有规律的某种对称排列, 如果我们用点来代表组成晶体的粒子, 这些点的空间排列就称为空间点阵。

单胞: 完全描述空间点阵的最小重复单元称为单胞。

阵点: 单胞的顶点称为阵点

点阵常数: 晶胞的大小取决于其三条棱的长度 a, b 和 c , 而晶胞的形状则取决于这些棱之间的夹角 α, β, γ , 我们把 $a, b, c, \alpha, \beta, \gamma$ 这六个参量称为点阵常数。

基元: 处在一个阵点的“物质群”称为基元。

晶体结构: 组成晶体的结构基元 (分子、原子、离子、原子集团) 依靠一定的结合键结合后, 在三维空间做有规律的周期性的重复排列方式。简单的讲就是: 空间点阵 + 结构基元 = 晶体结构

若晶体的性质和测量方向无关, 则称晶体称为各向同性的; 若晶体的性质和测量方向有关, 则称晶体是各向异性的。

配位数 (CN): 晶体结构中任一原子周围最近邻且等距离的原子数。

致密度：晶体结构中原子体积占总体积的百分数。

原子堆垛因子 (APF)：在晶体结构中原子占据的体积与可利用的总体积的比率定义为原子堆垛因子。 $APF= \text{单胞中原子体积} / \text{单胞体积}$

影响配位数的因素：

中心原子的大小。中心原子的最高配位数决定于它在周期表中的周次。

中心原子的电荷。中心原子的电荷高，配位数就大。

中心原子的成键轨道性质和电子构型。从价键理论的观点来说，中心原子成键轨道的性质决定配位数，而中心原子的电子构型对参与成键的杂化轨道的形成很重要。

配体的性质。 同一氧化态的金属离子的配位数不是固定不变的，还取决于配体的性质。配合物的中心原子与配体间键合的性质，对决定配位数也很重要。

晶向族：晶体中的原子排列情况相同， 空间位向不同的一组晶向， 称一个晶向族，用<uvw>表示。

晶面族：晶体中具有相同的条件（这些晶面上的原子排列情况和晶面间距分别完全相同），只是空间位向不同（即不平行）的各个晶面， 总称为晶面族，用 {hkl} 表示。

线密度：在晶体方向单位长度上有原子中心的数目。 $L= \text{在一个单胞内沿方向上原子中心的数目} / \text{包含在一个单胞内线的长度}$

面密度：在晶体学面单位面积上的原子或离子中心的数目。 $P= \text{在一个单胞内中心原子一个面上的原子数目} / \text{包含在一个单胞中的面的面积}$ 。

金刚石：金刚石晶体结构的点阵就是一个面心立方点阵，但决不能说金刚石晶体结构是由两个面心立方点阵穿插而成。因为这样说，就把只有抽象几何意义的空间点阵看成了由具体的碳原子构成了图形。

常见的几个晶体类型的参数（务必牢记）

晶体结构	每个晶胞内的原子数 n	配位数 CN	密排面	原子堆垛因子	密排面间距	密排方向	密排方向最小原子间距	每个晶胞四面体间隙个数	每个晶胞八面体间隙个数
------	-------------	--------	-----	--------	-------	------	------------	-------------	-------------

BCC	2	8	{110}	0.68	$\frac{\sqrt{2}}{2}a$	<111>	$\frac{\sqrt{3}}{2}a$	12	6
FCC	4	12	{111}	0.74	$\frac{\sqrt{3}}{3}a$	<110>	$\frac{\sqrt{2}}{2}a$	8	4
HCP	6	12	{0001}	0.74	$\frac{1}{2}c$	<11-20>	a	12	6

2010 年简答题（ 10 分）5. 简要说明晶体结构与空间点阵的关系。

答：空间点阵是把晶体的质点抽象为阵点，用来描述和分析晶体结构的周期性和对称性，要求各个阵点的周围环境相同，它只有 14 种类型。而晶体结构是指具体的物质粒子排列分布，由于结构基元可以是无穷多种，因而构成的具体的晶体结构也有无穷多种。两者之间的关系可用“空间点阵 + 结构基元 = 晶体结构”来描述。（后面可以不用写，只是帮助理解：在实际晶体中，有晶体结构不同但属于同一种晶体点阵的情况，例如 Cu, NaCl 和 CaF₂ 的晶体结构不同，但它们都属于面心立方点阵。另外，类似的晶体结构也可能属于不同的空间点阵，如 W 和电子化合物 CuZn 都是体心立方结构，但 CuZn 属于简单立方点阵，W 属于体心立方点阵。）

2010 年简答题（ 10 分）9. 什么是晶体中原子的配位数？影响配位数多少的因素是什么？

答：晶体中原子的配位数是反映原子排列紧密程度的物理量之一，指晶格中任一原子周围与其最近邻且等距离的原子数目。一般配位数越大，晶体排列结构越紧密。因素：略。

2012 简答题（ 10 分）2. NaCl 的晶体结构是否属于布拉菲点阵？为什么？如果不是，则其点阵为哪种类型？答：不属于布拉维点阵。如果把 NaCl 的晶体结构看成 14 种布拉维点阵任何一种，则它的每个阵点不可能都具有完全相同的物理环境和几何环境，这不符合空间点阵的定义，所以 NaCl 的晶体结构不属于布拉菲点阵。但如果把组元看成质点，则其满足其中一种空间点阵，空间点阵为：面心立方点阵。

2012 简答题（ 10 分）4. 面心立方和密排六方结构中原子的堆垛方式和致密度是否有差异？请加以说明。

面心立方结构是以密排面 {111} 按 ABCABC... 顺序堆垛而成的，密排六方结构是以密排面 {0001} 按 ABAB... 顺序堆垛起来的。面心立方结构的致密度为 0.74，密排六方结构的致密度也为 0.74。

2012 简答题（ 10 分）8. 画出立方晶系的 [100]、[101] 晶向和 (111)(1-11) 晶面。

第三章 晶体的范性形变（塑性变形）

塑性变形：在外载力作用下引起晶体中原子的永久位移称为塑性变形。

(滑移)临界分切应力：使塑性变形开始发生的切应力称为临界分切应力，用 τ_c 表示。它是一个定值，与材料本身性质有关，与外力取向无关。

Schmid(施密特)定律：对不同晶体取向的正应力与发生塑性变形的切应力之间的关系方程，即

$\tau = \sigma \cos \phi \cos \lambda$ ，其中 σ 为拉力与滑移方向的夹角， ϕ 为拉力与滑移面法线的夹角， $\mu = \cos \phi \cos \lambda$ 称为施密特因子。

滑移系：晶体通过滑移产生塑性变形时，由一个滑移面和位于该滑移面上的一个滑移方向所构成的系统称为一个滑移系。用 $\{hkl\}\langle uvw \rangle$ 来表示。例如，在 FCC 金属， $(111)[110]$ 是滑移系，相应的滑移族是 $\{111\}\langle 110 \rangle$ 。

关于滑移系请注意：(1) 滑移面总是晶体的密排面，而滑移方向也总是密排方向。这是因为密排面之间的面间距离最大，面与面之间的结合力较小，滑移的阻力小，故易滑动。而沿密排方向原子密度大，原子从原始位置达到新的平衡位置所需要移动的距离小，阻力也小。(2) 每一种晶格类型的金属都具有特定的滑移。一般来说，滑移系的多少在一定程度上决定了金属塑性的好坏。然而，在其它条件相同时，金属塑性的好坏不只取决于滑移系的多少，还与滑移面原子密排程度及滑移方向的数目等因素有关。

常见的几种晶体的滑移系（和 P8 表格一起记忆）：

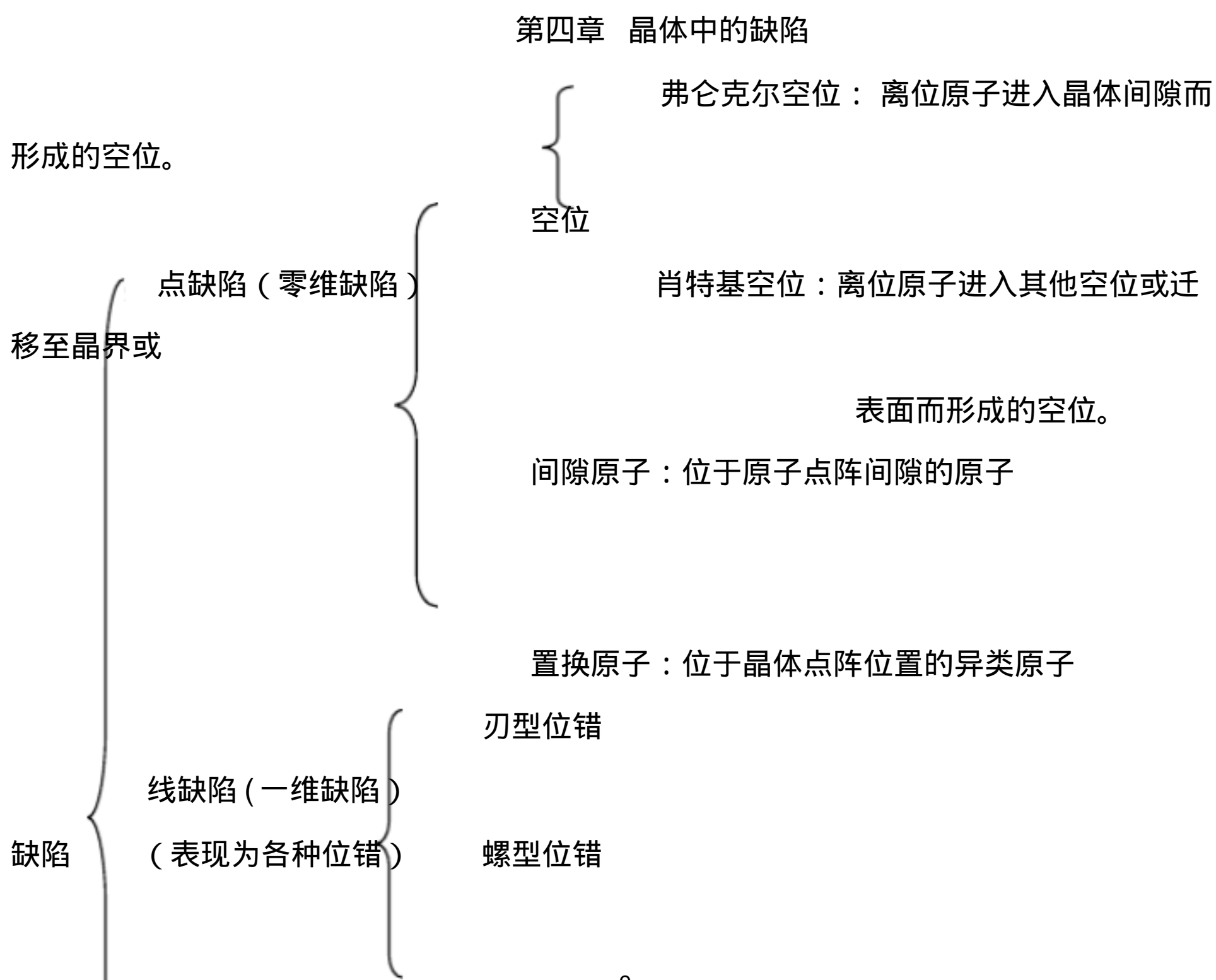
晶体结构	滑移面	滑移方向	滑移系数目
BCC	$\{110\} \{112\} \{123\}$	$\langle 111 \rangle$	48
FCC	$\{111\}$	$\langle 110 \rangle$	12
HCP	$\{0001\} \{10\bar{1}0\}$	$\langle 11\bar{2}0 \rangle$	3

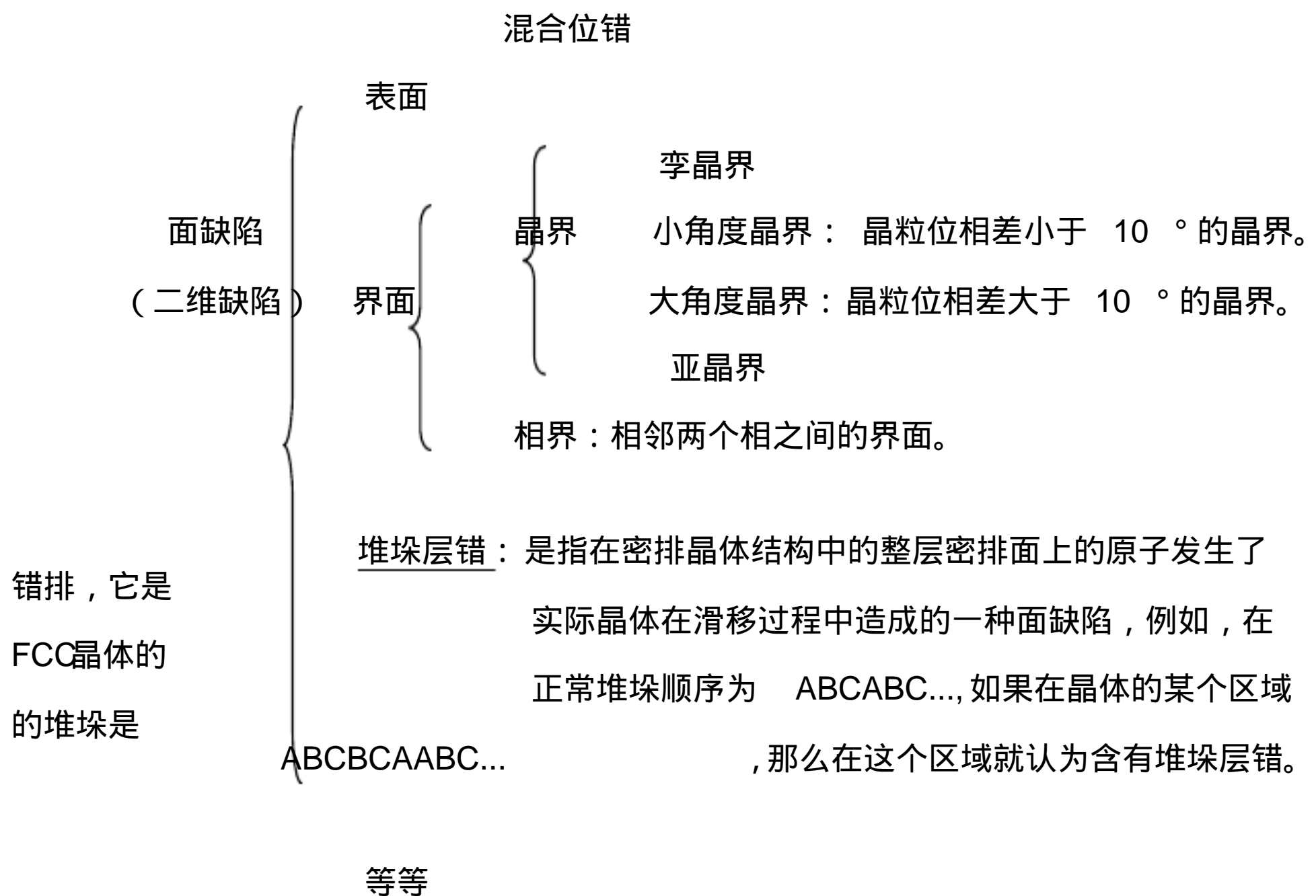
2009 年名词解释（ 5 分）8. 临界分切应力：晶体中的某个滑移系是否发生滑移，决定于力在滑移面内沿滑移方向的分切应力，当分切应力达到某一临界值时，滑移才能开始，此应力即为临界分切应力，它是滑移系开动的最小分切应力。材料的临界分切应力取决于材料的本身性质，但和温度以及材料的纯度等也有关系。

2010 年名词解释（ 5 分）施密特（ Schmid）因子：拉伸变形时，能够引起晶体滑移的分切应力 τ 的大小取决于该滑移面和晶向的空间位置（ ϕ 和 λ ）。 τ 与拉伸应力 σ 间的关系为： $\tau = \sigma \cos \phi \cos \lambda$ ，其中 $\cos \phi \cos \lambda$ 被称为取向因子，或称施密特因子，取向因子越大，则分切应力越大。

2011 简答题（ 10 分）3. 在面心立方（ FCC）晶胞中画出（ 101）和[110]，并分析他们能否构成滑移系？

解：图略。不能构成滑移系，因为（ 101）和[110] 不在一个平面上。





弗仑克尔缺陷：离位原子进入点阵的间隙位置，而在晶体中同时形成数目相等的空位和间隙原子，这种点缺陷称为弗仑克尔缺陷，出于尺寸的考虑，大多数的弗仑克尔缺陷都涉及正离子。（注意与弗仑克尔空位的区别）

肖特基缺陷：在离子固体中形成的小的正离子和负离子空位的丛集。在这些丛集中正离子：负离子的比率要调整维持电的中性。

位错：晶体中普遍存在的线缺陷，是晶体中某处一系列或若干列原子有规律的错排。位错是引起塑性变形的主要原因。

位错滑移：指在外力作用下，位错线在自身的滑移面（即位错线与伯氏矢量 b 构成的晶面）上的移动，结果导致晶体永久变形，位错的这种运动不涉及物质的输运。

位错攀移：当空位迁到刃型位错多余半原子面的边缘时，刃型位错发生的移动，称为位错攀移，攀移导致位错转移到临近的平行滑移面上，攀移要求物质运输。

柏氏回路：绕着位错通过无缺陷材料的回路称为柏氏回路，如果在回路中没有位错，它通常是闭合的。

柏氏矢量 b ：用来描述位错引起晶格畸变的物理量，它是连接柏氏回路终点到开始点的矢量。该矢量的模是层错的强度，表示晶格总畸变的大小，其方向表示晶格点畸变的方向。

一般情况下，该矢量越大，晶体畸变的程度越大。柏氏矢量是位错的一个不变的性质。

位错。（其中
实际晶体中的位错

全位错：柏氏矢量等于单位点阵矢量或其整数倍的位错称为全

柏氏矢量恰好等于单位点阵矢量的位错称为单位位错）

不全位错：柏氏矢量不等于点阵矢量整数倍的位错称为不全位错。

（其中柏

氏矢量小于点阵矢量的位错称为部分位错或者分位

错）

晶界：当两个任意取向的晶粒，沿一个任意表面接合时发生的界面称为晶界。晶界是一种面缺陷。

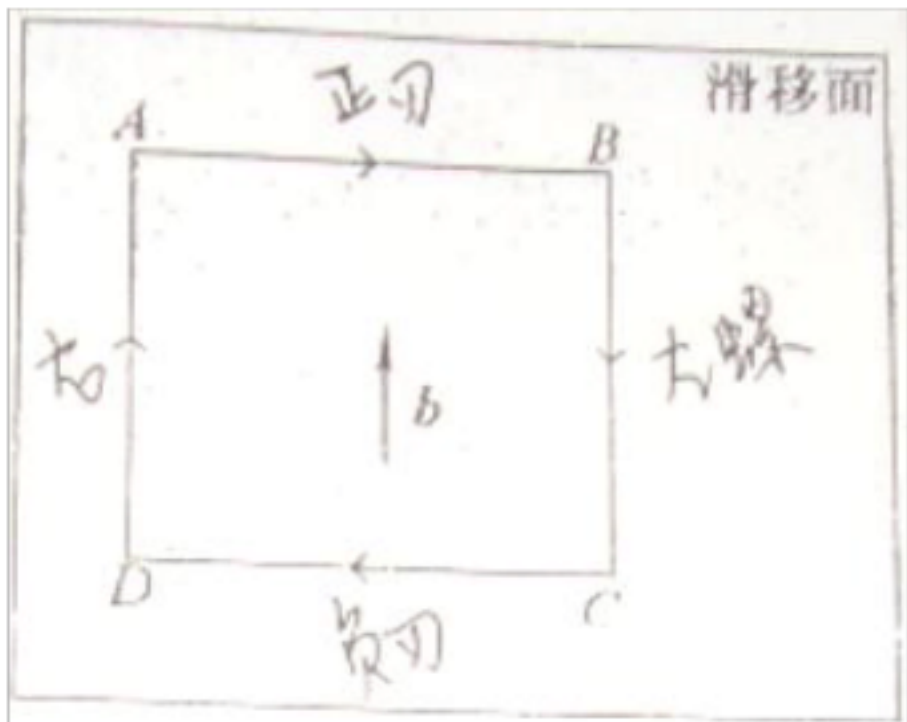
共格界面：所谓共格界面，是指界面上的原子同时位于两相晶格的结点上，即两相的晶格是彼此链接的，界面上的原子为两者共有。

2008 年名词解释（ 5 分）全位错；共格界面

2009 年名词解释（ 5 分）1. 位错 3. 晶界 4. 柏氏矢量

2010 年名词解释（ 5 分）3. 位错滑移 6 肖特基（ Schttky ）空位

2010 论述题（ 15 分）3. 位错有哪些类型？其位错线与柏氏矢量间的关系如何？请分析下图中 AB BC CD DA位错线的位错类型。



2010 论述题（ 15 分）4. 论述面缺陷的种类及对材料力学性能的影响。

解：面缺陷包括：表面、晶界、相界、堆垛层错等。影响：界面阻碍为错的运动，引起界面强化，从而提高了材料的强度。界面阻碍变形，使变形分布均匀，提高了材料的塑性。强度和塑性的提高相应使材料的韧性得到改善，因此界面的增加得到细晶组织，可大大改善材料的力学性能。

2011 年名词解释（ 5 分）位错滑移，共格界面

2011 年简答题（ 10 分） 6. 比较说明刃型位错与螺型位错的异同点

答：刃型位错和螺型位错的异同点： 刃型位错位错线垂直于柏氏矢量，螺型位错位错线平行于柏氏矢量； 刃型位错柏氏矢量平行于滑移运动方向，螺型位错柏氏矢量垂直于滑移运动方向； 刃型位错可作攀移运动且只有一个滑移面，螺型位错只可作滑移运动但有无数个滑移面； 两者都可以用柏氏矢量表示。

2012 年名词解释（ 5 分） 4. 堆垛层错 9. 弗仑克尔点缺陷

2012 年简答题（ 10 分） 6. 在位错滑移运动时，请分析刃型位错、螺型位错、混合位错的位错线 l 与柏氏矢量 b ，位错运动方向与位错线 l 及柏氏矢量 b 之间的关系。

答：(备注：画位错环)

位错类型	l 与 b 的关系	位错运动方向与 l 关系	位错运动方向与 b 关系
刃型位错	垂直	垂直	平行
螺型位错	平行	垂直	垂直
混合位错	成一定角度，既不垂直又不平行	垂直	成一定角度，既不垂直又不平行

第五章 材料强化机制

应变硬化：金属在冷加工过程中流变应力随应变的增加而增加的现象称为应变硬化。其机理是：金属在形变过程中位错密度不断增加，使强性应力场不断增大，位错间的交互作用不断增强，因而位错的运动越来越困难。

应变硬化在生产实际中有何意义？

在生产实际中，应变硬化有不利方面，也有有利方面。不利方面是：（1）由于金属在加工过程中塑性变形抗力不断增加，使金属的冷加工需要消耗更多的功率；（2）由于应变硬化使金属变脆，因而在冷加工过程中需要多次中间退火，使金属软化，能够继续加工而不致裂开；（3）有些金属尽管某些性能很好，但由于解决不了加工问题，其应用受到很大限制。

有利方面：（1）有些加工方法要求金属必须有一定的加工硬化；（2）可以通过冷加工控

制产品的最后性能；（3）有些零部件在工作条件表面会不断硬化，以达到表面耐冲击、耐磨损的要求。

材料的主要强化机制有哪几种？其强化机制是什么？

答：固溶强化、细晶强化、第二相强化、形变强化。其机理均是通过在金属中引入大量的缺陷，阻碍位错的运动来提高材料的强度。不同的强化方法的机理有其特殊性。

固溶强化：利用点缺陷对位错的阻力使金属基体获得强化的一种方法。具体方法是通过在金属基体中融入一种或数种溶质元素形成固溶体而使金属强度、硬度升高。溶质元素可以使材料得到强化的微观机制在于：无论是间隙式固溶原子还是置换式固溶原子都会使溶剂金属的晶格产生畸变，从而产生一内应力，位错在此内应力场中运动会受到阻力。

细晶强化：又称晶界强化，是指细化晶粒来提高金属的强度。其原理在于晶界对位错滑移的阻滞效应。细晶强化的微观机制在于：对于多晶体来说，位错运动必须克服晶界的阻力。这是由于晶界两侧位错的取向不同，所以在某一个晶粒中滑移的位错不能直接穿越晶界进入相邻的晶粒，只有在晶界处塞集了大量位错后引起应力集中，才能激发相邻晶粒中已有位错的运动产生滑移。所以晶粒越细，晶界越多，材料的强度就越高。

第二相强化：指在金属基体（通常是固溶体）中还存在另外一个或者几个相，这些相的存在使金属的强度得到提高。因获得第二相的工艺不同，第二相强化分为 沉淀强化：通过相变热处理获得第二相 弥散强化：通过粉末烧结或内氧化获得。第二相强化的微观机制是：位错在运动过程中遇到第二相，需要切过（沉淀强化的小颗粒和弥散强化的颗粒；强度低，有一定塑性）或者绕过（沉淀强化的大颗粒；颗粒硬，不宜变形）第二相，从而第二相（沉淀相和弥散相）阻碍了位错的运动。

形变强化：材料屈服以后，随着形变量的增加，所需的应力是不断增加的，这种现象叫形变强化，也叫加工强化。其机理是：金属在形变过程中位错密度不断增加，使强性应力场不断增大，位错间的交互作用不断增强，因而位错的运动越来越困难。

2008 年论述题（15 分）1. 介绍合金强化的四种主要机制及其强化原因。

2009 名词解释（5 分）应变硬化

2009 年论述题（15 分）3. 材料的主要强化机制有哪几种？其强化机制是什么？

2010 年简答题（10 分）10. 何谓应变硬化？在实际生产中有何意义？

2011 论述题（15 分）6. 利用位错理论分析论述第二相粒子对金属塑性变形行为及强度的影响。

2012 名词解释（ 5 分）应变硬化

2012 年论述题（ 15 分） 1. 提高金属材料强度的途径有哪些？其强化机制是什么？

第五章 固体中原子及分子的运动

上坡扩散：在化学位差为驱动力的条件下，原子由低浓度位置向高浓度位置进行的扩散。

下坡扩散：原子由高浓度区向低浓度区的扩散叫顺扩散，又称下坡扩散。

菲克第一定律：在稳态条件下，通过某一截面的扩散流量与垂直这个截面方向上的浓度梯度成正比，其方向与浓度降低方向一致，其数学表达式为：

$$J = -D \frac{dC}{dx}$$

其中 J 表示扩散通量，单位 $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$, D 是扩散系数，单位是 cm^2/s , dC/dx 表示沿 x 轴的浓度梯度，单位是 g/cm^4 。

菲克第二定律：在非稳态条件下，扩散物质浓度的变化速率等于扩散通量随位置的变化率，其一般形式为：

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

扩散的驱动力：原子扩散的真正驱动力是化学位梯度，而不是浓度梯度。

晶体固体中，扩散的微观机制有：间隙机制，空位机制，交换机制，填隙机制等

离子晶体的扩散机制：空位扩散 间隙扩散 亚晶格间隙扩散。

影响扩散的因素：

温度的影响：温度越高，扩散越快。

晶体结构的影响：结构不同，扩散系数不同。

固溶体类型对扩散的影响：不同的固溶体，原子的扩散和机制不同。

固溶体浓度对扩散的影响：浓度越大，扩散越易进行。

晶体缺陷的影响：晶界、位错、空位都会对扩散产生影响。

化学成分对扩散的影响：加入化学元素对扩散会产生阻碍。

应力的作用：不管合金内部还是外部存在应力，都会促使扩散的进行。

2008 年名词解释（ 5 分）上坡扩散

2009 年简答题（ 10 分） 3. 在 MgO 晶体中掺入 Li_2O 后，晶体的空位浓度如何变化？

答：晶体中氧的空位浓度增加。因为每个 Li^+ 置换一个 Mg^{2+} ，导致损失一个正电荷，如果没有间隙产生，这损失的正电荷必须由产生负离子空位来平衡。电荷中性要求每两个

Li⁺ 杂质产生一个氧空位浓度。所以最终结果是即使在 MgO 晶体中掺入少量的 Li₂O，晶体中会产生比热空位浓度大的多的氧空位浓度。

2009 年简答题（10 分）4. 简述菲克第一定律和菲克第二定律的含义，写出表达式，指明其字母的物理意义。

2009 年论述题（15 分）2. 离子晶体中的扩散机制有哪些？影响因素有哪些？

2010 年简答题（10 分）7. 在氧化物陶瓷中掺杂其它氧化物时，氧空位浓度会如何变化？

2010 论述题（15 分）2. 扩散的驱动力是什么？扩散的微观机制有哪些？结合扩散理论，谈谈生产实际中如何提高钢铁材料的渗碳效率。略；略；从外部来讲：加热至高温，增加 CO/CO₂ 气体比率；从内部讲：提高扩散系数 D ，增加扩散激活能。

2011 年简答题（10 分）5. 在 MgO 晶体中掺入 Li₂O 后，晶体的空位浓度如何变化？

2011 论述题（15 分）3. 分析和讨论影响固态晶体中原子扩散的主要因素。

2012 简答题（10 分）9. 提高 ZrO₂ 晶体的氧空位浓度可以提高其电导率，请阐述掺杂哪类价态的氧化物可以提高其氧空位浓度？

2012 年论述题（15 分）4. 论述原子扩散在金属材料中的应用。

固溶强化：合金元素通过扩散形成间隙固溶体或置换固溶体，达到强化金属的目的，例如 C、Cr 等元素的作用。

时效强化：合金中的元素通过扩散，在金属基体中偏聚，形成第二相强化金属，例如 Cu-Al 合金

扩散焊接：两种不同的材料通过扩散达到焊接的目的，多在 HIP（热等静压）条件下进行

热处理 固态烧结

第七章 相图

相：在没有外力作用下，物理、化学性质完全相同、成分相同的均匀物质的聚集态称为相，相与相之间有明确的物理界面。关于“相”要注意：水的固态、液态、气态三种状态是三个相。气体在平衡状态下，无论有多少组分，均是均匀的，因此气相只有一种。一个相中可能含有不止一种物质，如空气，固溶体，NaCl 溶液等。一种物质可以有几种相的存在，如冰水混合物。

相图：反应材料在平衡状态下相的状态（固态、液态或气态）与温度及成分关系的综合图形，也称为平衡图，状态图，平衡状态图。所谓平衡，是指在一定条件下合金系中参

与相变过程的各相的成分和相对质量不再变化所达到的一种状态。

相律：是物质发生相变所遵循的规律之一，它是表示材料在平衡状态下，系统的自由度数 f 与组元数 C 和平衡相数 P 三者之间关系的定律。当压力不变时， $f=C-P+1$ 。

组元：组成材料最基本、独立的物质称为组元。组元可以是纯元素，如金属元素（ Fe ， Cu ， Al ）；非金属元素（ C ， N ， O ），也可以是化合物（ SiO_2 ）。材料可以由单一组元组成，如纯铁，纯铜，也可以由多种组元组成，如钢是由 Fe 和 C 两种组元组成。

杠杆规律：根据合金及存在的相的成分计算在两相区所存在的两个相的相对量的方程。

ML/Ms =杠杆右端长 / 杠杆左端。

共晶反应：一种液相在恒温下同时结晶出两种固相的反应叫做共晶反应。

包晶反应（转变）：包晶反应是指一定成分的固相和一定成分的液相，在恒温下转变成一个新的一定成分的固相的过程，包晶反应用符号表示为： $L +$ 。

均匀形核：金属结晶时的形核方式之一，是在金属液体中依靠自身的结构均匀自发地形核。

非均匀形核：金属结晶时的形核方式之一，是依靠外来杂质所提供的固相界面非自发、不均匀地形核。

二元相图的基本类型：二元匀晶反应： L 和下表

等温转变类型		反应式	合金实例
分解型（共晶式）	二元共晶反应	$L +$	Pb-Sn
	二元偏晶反应	$L_1 \quad L_2 +$	Cu-Pb
	二元熔晶反应	$+L$	Fe-S
	二元共析反应	$+$	Cu-Al
	二元单析（偏析）反应	$1 \quad 2 +$	Al-Zn
合成型（包晶式）	二元包晶反应	$L +$	Cu-Zn
	二元包析反应	$+$	Fe-W
	二元合晶反应	$L_1 + L_2$	Fe-Sn

相图的分析：

相图中所有的线条都是代表发生相转变的温度和平衡相的成分。合金在加热或冷却过程中，每碰到一条线，都表示将发生某种相转变，并且成分随温度的改变也沿着这条线变化。这些线条包括：液相线、固相线、固溶度线、三相恒温线（亦为固相线）。

相图中由线条围城相区，每一种相区代表相型相同的相区。二元相图中的相区分为单相区、两相区、三相区。单相区代表一种具有独特结构和性质的相的成分和温度的范围，若单相区为一直线，则表示相的成分不变。两相区的两个相就是两边相邻的两个相区的相。在二元相图中，三相区必为一水平线，表示等温反应，三个单相区分别交于水平线的三个点，即水平线的两个端点和线中间的一点，水平线上下分别与三个两相区毗邻。关于相图必须遵守的一个规律：与水平线端点毗邻的单相区边界线的延长线必须进入两相区内。

分析复杂相区的方法：相图中有稳定化合物时，以稳定化合物为界，把相图分为几部分分别进行分析。成分固定的化合物在相图中为一垂直线，以垂直线为界，把相图分开；成分可变的稳定化合物在相图中为一相区，此时可以用虚线（垂线）把相图分开。这样把复杂的相图分为几个简单的基本相图，分别进行分析。

2008 年名词解释（ 5 分）包晶转变

2008 年简答题（ 8 分）指出相图的错误。（图略）

- （1）三相区必为一水平线，表示等温反应。
- （2）二元系三相平衡时自由度为零，三个相均有确定的成分，即三相平衡时的焦点唯一。
- （3）任何温度下做连接线都必须分别交于液相线和固相线，不能交于单一液相线或单一固相线。

2009 年名词解释（ 5 分）共晶反应

2009 年简答题（ 10 分）8. 二元相图中可能发生的固固相平衡的反应有哪些？写出相应的平衡反应式。

2010 名词解释（ 5 分）相图杠杆定律，包晶反应，非均匀形核

2011 名词解释（ 5 分）非均匀形核，相图杠杆定律

2011 年简答题（ 10 分）8. 比较二元共晶转变和包晶转变的异同。

答：形同点：均是恒温、恒成分转变 两种转变反映在相图上均为水平线 都有两个固相和一个液相参与反应。

不同点：共晶反应为分解型反应，包晶反应为合成型反应

共晶反应全是固相线，包晶反应只有部分是固相线。

共晶三角在水平线上，包晶三角在水平线下。

2012 名词解释 (5 分) 非均匀形核

2012 年简答题 7. 简述二元系统中共晶反应、 包晶反应和共析反应的特点， 并计算三相平衡的自由度。

共晶反应为分解型反应，其反应特点为： $L \rightarrow S_1 + S_2$ ，自由度为： $f=2-3+1=0$ 。

包晶反应为合成型反应，其反应特点为： $L + S_1 \rightarrow S_2$ ，自由度为： $f=2-3+1=0$ 。

共析反应为分解型反应，其反应特点为： $S_1 \rightarrow L + S_2$ ，自由度为： $f=2-3+1=0$ 。

第八章 非晶态与半晶态材料

聚合物的数均摩尔质量：按分子数统计平均的相对摩尔质量称为数均相对摩尔质量。

重均相对摩尔质量：按重量统计平均的相对摩尔质量称为重均相对摩尔质量。

Z 均相对摩尔质量：按 Z 值统计平均的相对摩尔质量称为 Z 均相对摩尔质量。

聚合物构型：用于表述侧基之间关系的术语，三种常见的构型是无规立构、全同立构、间同立构。

聚合物的结晶度：聚合物都只是部分结晶的，聚合物结晶度就是指结晶部分占总数的百分比，它是表征聚合物材料的一个重要参数，聚合物结晶度变化的范围很宽，一般从 30%~ 80%。

玻璃转变温度：对任何一个无定形固体，在试验时间内区分玻璃行为和橡胶行为的临界温度称为玻璃转变温度。玻璃转变温度是所有非晶态材料的特征。

决定聚合物结晶度的因素：

侧基的尺寸：具有尺寸和容积大的侧基不能有效的堆垛，所以很难形成晶体。

链分支的程度：有分支的链要比无分支的链形成晶体难得多。

立构规整度：无规立构不易排成晶态材料所要建立的长程有序方式，而全同立构和间同立构则容易得多。

重复单元的复杂性：具有长的重复单元的聚合物，它晶化比较慢。

平行链段之间二次键合的程度：极性侧基有利于聚合物晶态区域的形成。

玻璃的网络修饰体：一个离子它与其近邻不能形成三个或更多的键，这里通常是指氧化物玻璃。打断三维网络，它们不是良好的玻璃形成体。

2009 年名词解释 (5 分) 玻璃转变温度，聚合物的构型

2009 年论述题 (15 分) 4. 决定聚合物结晶度的因素有哪些。

2010 年名词解释 (5 分) 玻璃的网络修饰体

2010 简答题（ 10 分） 9. 影响聚合物结晶度的因素有哪些？

2011 年名词解释（ 5 分） 玻璃转变温度

2011 简单题（ 10 分） 7. 什么叫玻璃的网络修饰体？其对玻璃的结构和性能有何影响？

2011 年论述题（ 15 分） 5. 什么是聚合物的结晶度？影响聚合物结晶度的因素有哪些？

2012 名词解释（ 5 分） 聚合物的数均摩尔质量

2012 年论述题（ 15 分） 3. 论述提高聚合物结晶度的措施有哪些？

要提高聚合物的结晶度，从结构来说，可以：

增加分子链的对称性； 增加分子链的立体规整性； 增加重复单元的排列有序性，
即无规共聚；

增加分子链内含的氢键； 降低分子链的支化度或交联度；

从外部因素来看，可以在工厂实施的方法：

退火，缓慢降温可以提高结晶度 注意应力的影响，如橡胶和纤维，应力条件下就加速结晶；

溶剂的选择，良溶剂中不易结晶。