

- (1) 请给出该样品的晶体结构; (5分)
- (2) 请给出各衍射峰所对应的晶面指数; (5分)
- (3) 请说明图中为什么没有你标注的晶面指数以外的晶面所对应的衍射峰存在; (5分) **$F = 0$**
- (4) 请说明为什么第8、第9号衍射峰分为两个峰; (3分)
- (5) 请说明为什么高角度的第8、第9号衍射峰才分为两个峰, 而没有观察到低角度的第1、第2号等衍射峰等分裂为两个峰? (7分)

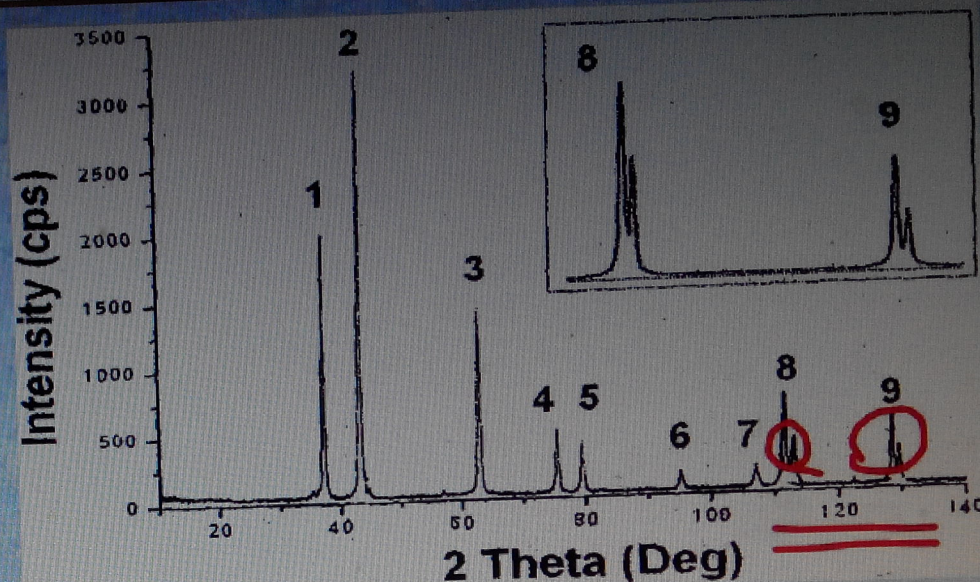
解: (1)
$$d_i^2 = \frac{a^2}{h^2 + k^2 + l^2} = \frac{a^2}{N_i} \Rightarrow N_i = \frac{a^2}{d_i^2}$$

通过计算为:

衍射峰	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N_i/N_1	1	1.33	2.66	3.67	4	5.33	6.33	6.67	8
晶面指数	(111)	(200)	(220)	(311)	(222)	(400)	(331)	(420)	(422)

判断出晶体结构为 fcc. (2) 如上表, 令 $N_i = 3$, 依次得 $N_i = h^2 + k^2 + l^2$

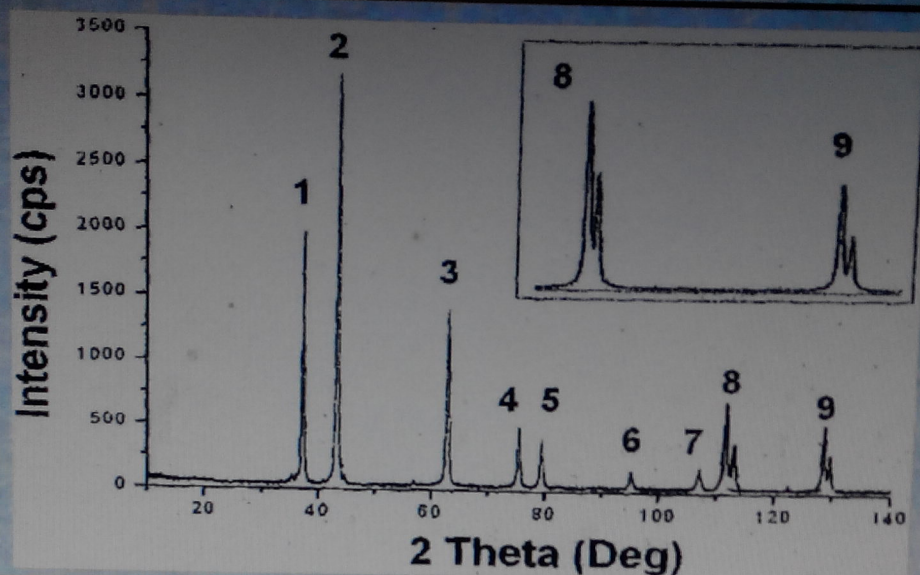
(3) 系统消光 / 结构消光
(言之成理即可)



衍射峰	1	2	3	4	5	6	7	8	9
晶面间距 d	2.4120	2.0890	1.4768	1.2594	1.2058	1.0443	0.9584	0.9342	0.8528
d^2	5.8177	4.3639	2.1809	1.5861	1.4540	1.0906	0.9186	0.8727	0.7272
晶面指数									

(4) 入射的X射线为某物质的 K_{α} 特征谱, 其中含有 $K_{\alpha 1}$ 、 $K_{\alpha 2}$ 两条谱线, 使8、9衍射峰分为两个峰。

山东师范大学2011年《材料综合》试题



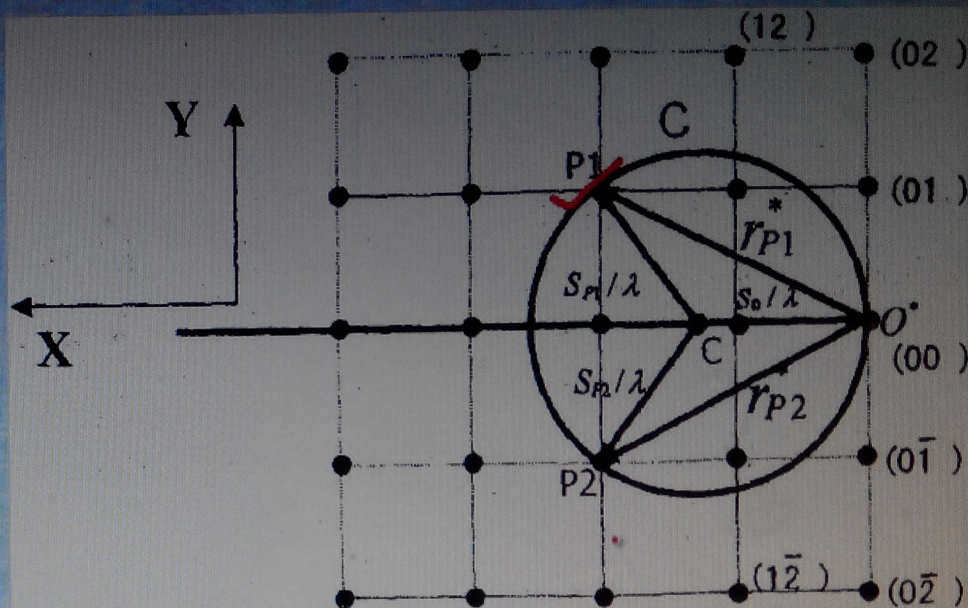
衍射峰	1	2	3	4	5	6	7	8	9
晶面间距 d	2.4120	2.0890	1.4768	1.2594	1.2058	1.0443	0.9584	0.9342	0.8528
d ²	5.8177	4.3639	2.1809	1.5861	1.4540	1.0906	0.9186	0.8727	0.7272
晶面指数									

(5) $K\alpha_1$ 、 $K\alpha_2$ 波长很相近，在低角度时通常无法分辨，而在高角度时，由 $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \cot\theta \cdot \Delta\theta$ 知，随 θ 升，分辨率 \uparrow 。

$K\alpha$ 双线的衍射峰分开，但相距很近，其中角度稍小而强度较大的为 $K\alpha_1$ 线。

北京航空航天大学 2011 年《材料综合 011》长理吉题上讲解

七、(5分) 如图为厄瓦尔德球 (图中为C圆) 与倒易点阵的平面图 (O^* 为倒易点阵原点), 请根据厄瓦尔德球与倒易点阵定义, 给出当入射束 (X射线或电子束) 的波长非常小, 乃至厄瓦尔德球面可以看作是平面时, 可能产生的衍射斑点 (二维点阵, 不需要考虑消光)。



解:

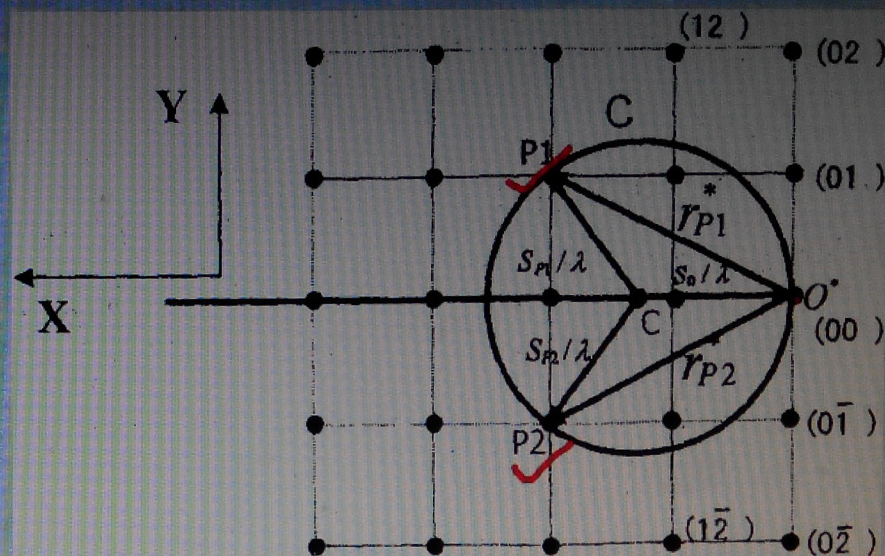
以入射线与反射球的交点为原点, 形成倒易点阵, 只要倒易点落在反射球面上, 对应的点阵面都能满足布拉格条件, 衍射线方向为反射球心射向球面上其倒易结点的方向。

∴可能产生的衍射斑点为 $P_1(21)$, 方向 \vec{CP}_1 ; $P_2(2\bar{1})$, 方向 \vec{CP}_2

此题出自《材料科学基础》2011年《材料科学基础》考研真题



七、(5分) 如图为厄瓦尔德球 (图中为C圆) 与倒易点阵的平面图 (O^* 为倒易点阵原点), 请根据厄瓦尔德球与倒易点阵定义, 给出当入射束 (X射线或电子束) 的波长非常小, 乃至厄瓦尔德球面可以看作是平面时, 可能产生的衍射斑点 (二维点阵, 不需要考虑消光)。



解:

以入射线与反射球的交点为原点, 形成倒易点阵, 只要倒易点落在反射球面上, 对应的点阵面都能满足布拉格条件, 衍射线方向为反射球心射向球面上其倒易结点的方向。

∴可能产生的衍射斑点为 $P_1(21)$, 方向 CP_1 ; $P_2(2\bar{1})$, 方向 CP_2

此题出自《材料科学基础》2011年《材料综合》011》书后习题上页



八、简答题（本题共15分）。

(1) 简述产生特征X射线的原理，并指出入射电子的加速电压低于某一值后不能产生特征X射线的原因？（7分）

解：高速运动的电子突然受阻时，随电子能量的消失和转化，会产生X射线。

特征谱是靶材原子被激发，外层电子回迁而释放出的带有两个能级能量差的X射线光子。

若加速电压过低，低于激发电压时，电子能量小，不足以使原子激发，故不产生特征谱。



(2) 入射电子束在一定的加速电压条件下照射样品表面后，可以产生特征X射线。指出利用特征X射线可以获得样品中的什么信息？(5分)

解：特征X射线的能量为电子跨越两个能级的能量差，而原子中各层能级上的电子的能量，取决于原子核对它的束缚力，受原子序数的影响，故特征X射线的波长可反映出该原子的原子序数特征。

(3) 当散射角为零时，X射线的原子散射因子的值只与()相关，其大小为()？

解：原子序数 Z ; Z

f_x



九、(本题5分) 试述合金固溶体中原子扩散的基本机制及影响溶质原子扩散的主要因素。

解：扩散的微观机制：

(1) 间隙机制：在间隙固溶体中，溶质原子从一个间隙未知跳到另外一个间隙位置的扩散。碳，氮氢等小的间隙原子更容易采用间隙机制扩散。

(2) 空位机制：晶体中存在着空位。纯金属中的自扩散和置换固溶体中的扩散就是通过原子与空位交换位置实现的。这种扩散方式称为空位机制。大多数情况下原子扩散是借助空位机制实现的。

(3) 交换机制，需要的激活能较大，一般较少。

(4) 晶界相界表面位错等缺陷处的扩散，扩散速率较晶内大得多。

影响扩散的因素 (北航版):

(1) 温度: $D = D_0 \times \exp(-Q/RT)$

(2) 扩散元素性质: 熔点、原子间结合力, 同溶剂原子间的原子尺寸差、化学亲和力等。

→ 熔点越高 → 扩散激活能越大 → 扩散系数越小。

→ 原子间结合力越强 → 扩散激活能越大 → 扩散系数越小。

→ 原子尺寸差越小 → 晶格畸变越小 → 扩散系数越小。

→ 化学亲和力越高 (原子间结合力越强) → 扩散激活能越大 → 扩散系数越小。

(3) 溶剂金属性质: 晶体结构、熔点、结合能。

→ 晶体结构致密度越高 (BCC与FCC相差1500倍) → 原子扩散激活能越高、扩散系数越小。

→ 熔点越高 (原子间结合力越强) → 扩散激活能越大 → 扩散系数越小。

→ 与溶质原子化学亲和力越高 (原子间结合力越强) → 扩散激活能越大

→ 扩散系数越小。

→ 同溶质原子的尺寸差越小 → 晶格畸变越小 → 扩散系数越小。

(4) 晶体缺陷密度。

- 空位浓度：过饱和空位（固溶后不能停留太长时间）。
- 位错及层错密度：是扩散的快速通道。
- 晶界（晶粒尺寸）：纳米材料（表面纳米化—渗氮）。
- 相界：

(5) 表面曲率曲率半径越小、表面自由能越高、扩散驱动力越大（粉末冶金烧结、小晶粒缩小大晶粒长大）。

(6) 其他合金元素的影响，或增加或减小或无影响。

(4) 晶体缺陷密度。

- 空位浓度：过饱和空位（固溶后不能停留太长时间）。
- 位错及层错密度：是扩散的快速通道。
- 晶界（晶粒尺寸）：纳米材料（表面纳米化—渗氮）。
- 相界：

(5) 表面曲率曲率半径越小、表面自由能越高、扩散驱动力越大（粉末冶金烧结、小晶粒缩小大晶粒长大）。

(6) 其他合金元素的影响，或增加或减小或无影响。

(7) 溶质浓度。



影响扩散的因素（上交教材版）：

(1) 温度，温度是影响扩散速率最主要的因素，温度越高，原子热激活能量越大，越易发生迁移。

(2) 固溶体类型，间隙固溶体的扩散激活能比置换固溶体的小，更易扩散。

(3) 晶体结构，体心立方结构的致密度较小，原子更易迁移。

(4) 晶体缺陷，位错晶界表面对原子扩散起着快速通道的作用。

(5) 化学成分，熔点高的金属自扩散激活能大，杂质对组元的扩散也有影响。

(6) 应力的作用，应力可以提供原子扩散的驱动力。



十、(本题5分)同凝固过程相比,试述扩散型固态相变的基本特点。

解: (1) ①由于相变阻力大,相变的过冷度一般很大;
②固态相变都非自发形核;
③晶体缺陷对固态相变形核、生长及固态相变组织和性能具有决定性影响;
④新相与母相间往往存在严格的晶体学取向过程;
⑤相变历程复杂,往往晶粒溶质偏析-过渡相析出-稳定相析出等一系列历程。

(2) 扩散性相变的动力学特点:

- ①存在形核的孕育期;
- ②转变量服从Avrami方程 $f=1-\exp(-kt_n)$;
- ③转变温度时间关系符合C-曲线。

北京航空航天大学2011年《材料综合011》考研真题上详细

十一、(本题8分)综合运用所学金属学原理,试述细化金属材料晶粒的基本方法及机理?

解: (1) 控制凝固过程:

- ① 加快冷却速度, 获得较大过冷度 (降低浇铸温度、提高铸型冷却能力、减小零件壁厚、强制冷却、内外“冷铁”, 等等), 使液态金属同时大量形成晶核。形核率和晶体长大速率都增大但是形核率增长的更快。
- ② 提纯熔体以扩大过冷度 (深过冷)。
- ③ 加强液态金属的流动 (浇铸方式、机械搅拌与振动、电磁及超声搅拌与振动等等), 使形成的枝晶打断和型壁晶体游离, 这些枝晶碎片又可以成为新的结晶核心从而细化晶粒。
- ④ 孕育处理, 加入晶粒细化剂促进形核, 即加入形核剂促进非均匀形核。
- ⑤ 微合金化处理。

(2) 变形热处理, 即通过塑性变形后再结晶形成大量新的无畸变晶核细化晶粒, 预先变形度大且再结晶退火温度适中 (不过高) 时, 可以使细化效果最好。

(3) 固态相变, 即通过固态相变新相大量非均匀形核来细化晶粒。



十二、（本题共12分）根据位错基本理论，试述提高金属材料强度的基本方法和机理。

解：（1）获得无位错的理想晶体（晶体的理论强度）：

→除尺寸很小的晶须外，迄今无法制备→一旦屈服，几乎没有强度！

（2）获得无位错的非晶态合金（晶体的理论强度）：

→没有塑性、没有加工硬化！

→一旦屈服，几乎没有强度！

→变形集中（绝热剪切）

（3）通过各种方法在晶体中引入尽可能高的各种晶体缺陷，尽最大可能增加位错移动的阻力：

北京航空航天大学2011年《材料综合011》考研真题上详细



1) 细晶强化 (晶界强化):

由霍尔-配奇公式 $\sigma_s = \sigma_0 + K \times d^{-1/2}$ ，晶粒细化后 σ_s 增大相当于屈服强度增大，故细化晶粒可以达到强化的目的。主要是由于:

- ① 晶界处的原子排列不规则;
- ② 晶界处杂质原子富集形成各种气团;
- ③ 晶界两侧的晶粒取向不同，滑移不能从一个晶粒直接延续到另一个晶粒。因此常温下晶界的存在会对位错的运动起阻碍作用致使塑性变形抗力提高。宏观表现为晶界比晶内具有较高的强度和硬度。



1) 细晶强化 (晶界强化):

由霍尔-配奇公式 $\sigma_s = \sigma_0 + K \times d^{-1/2}$, 晶粒细化后 σ_s 增大相当于屈服强度增大, 故细化晶粒可以达到强化的目的。主要是由于:

- ① 晶界处的原子排列不规则;
- ② 晶界处杂质原子富集形成各种气团;
- ③ 晶界两侧的晶粒取向不同, 滑移不能从一个晶粒直接延续到另一个晶粒。因此常温下晶界的存在会对位错的运动起阻碍作用致使塑性变形抗力提高。宏观表现为晶界比晶内具有较高的强度和硬度。

2) 加工硬化: ① 位错间交互作用产生位错增殖, 位错密度急剧增加, 位错难于移动;

② 位错交割形成大量割阶, 钉孔位错, 位错交割形成位错网, 位错反应形成位错锁, 以上都会阻止位错的运动滑移都有利于硬化。

3) 固溶强化 (单相固溶体):

- ① 溶质原子与位错的弹性交互作用、化学交互作用和静电交互作用, 阻碍位错运动;
- ② 位错运动改变了溶质原子在固溶体中以短程有序或偏聚形式存在的分布状态, 引起系统能量升高, 增加了滑移变形的阻力;
- ③ 一些溶质原子或杂质原子可以与位错交互作用形成溶质原子气团, 对位错有钉扎作用。

4) 粒子强化:

- ① 过粒子 (弥散强化): 强化效果取决于粒子尺寸以及粒子间距, 与粒子本性无关。位错绕过机制 (奥罗万机制): 运动中心位错在滑移面上受到第二相质点阻碍时, 如质点尺寸和间距较大, 则位错线将绕其弯曲, 且形成包围质点的位错环, 同时原位错继续前进, 但位错间这种方式运动所受阻力大。
- ② 切割粒子 (沉淀强化): 第二相强度不大时, 可随基体一起变形, 且第二相质点与位错间作用力不足以把位错组织在质点处时, 位错会直接切过质点使质点分成两部分, 除质点周围应力场阻碍位错运动外, 质点本身对位错亦有阻力。强化效果取决于粒子的本性 (界面共格错配度、界面能、弹性模量差、层错能差、有序度等)。

北京航空航天大学2011年《材料综合011》考研真题上讲解