

激光等离子体中异常 X 线谱的辨认

以输出能量为 10 焦耳左右的大功率钨玻璃亚毫微秒激光照射直径为 $\phi 70$ 微米左右的空心玻璃壳小球靶,靶面功率密度高达 10^{15} 瓦/[厘米]²,用 KAP (邻苯二甲酸氢钾)平晶谱仪拍谱。谱仪的几何结构如图 1 所示,以 KAP 的 [010] 面 ($2d=26.6 \text{ \AA}$) 作为衍射面,它与晶体几何表面 AB 平行。实验结果在 EP 区域也记录到五根谱线。它们很可能是硅的高阶离子谱线经 KAP 晶体另一组晶面衍射形成的。为此,进行了计算和分析。

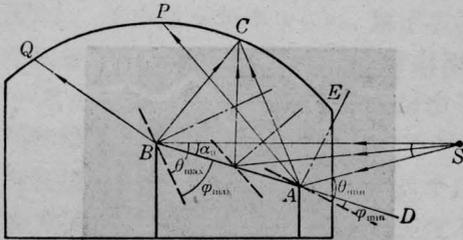


图 1 KAP 平晶谱仪结构简图。图中,虚线为假想的晶面取向

我们知道^[1], KAP 晶体属于正交晶系,基矢夹角 $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$,基矢长度 $a=9.607 \text{ \AA}$, $b=13.312 \text{ \AA}$, $c=6.475 \text{ \AA}$, $[hkl]$ 晶面的面间距

$$d = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{h}{a}\right)^2 + \left(\frac{k}{b}\right)^2 + \left(\frac{l}{c}\right)^2}} \quad (1)$$

该晶面与 [010] 面的夹角

$$\varphi = \arccos\left(\frac{k}{b} \cdot d\right) \quad (2)$$

对于 EP 区域内每一根谱线,只要它的波长已知,就可以确定一组 d, φ 的取值范围。因为实验摄得的 EP 区域内的五根谱线是由 KAP 平晶的同一组晶面衍射产生的、这一组晶面的 d, φ 取值应同时受到这五根谱线的约束。计算表明,受到这些约束的这组晶面的 d, φ 应满足

$$\begin{cases} 3.63 \text{ \AA} < d < 4.14 \text{ \AA} \\ 21^\circ 51' < \varphi < 34^\circ 32' \end{cases} \quad (3)$$

由此并计及式(2),有

$$2.64 = b \frac{\cos \varphi_{\max}}{d_{\max}} \leq k \leq b \frac{\cos \varphi_{\min}}{d_{\min}} = 3.40,$$

它仅有整数解 $k=3$ 。

进一步的分析表明,满足条件(3)的晶面只有 [130] 及 [031] 两组,它们的晶面间距依次为 $d_1=4.03 \text{ \AA}$, $d_2=3.66 \text{ \AA}$; 与 [010] 面的夹角依次为 $\varphi_1=24^\circ 48'$, $\varphi_2=34^\circ 25'$ 。根据这两组晶面 d, φ 的取值,可以确定这组谱线在底片上应处的位置。我们发现 [130] 的结果与实验相当符合,而 [031] 面的结果却与实验相差甚远。由上可以认为,实验摄得的底片上 EP 区域内的五根异常谱线,是硅的高阶离子线经 KAP 晶体 [130] 面衍射产生的, [130] 面的 $2d=8.06 \text{ \AA}$, 它与 [010] 面的夹角 $\varphi=24^\circ 48'$ 。由于玻壳靶中其他主要成份如氧、钠高阶离子发射波长均在 8 \AA 以上,它们是不能被 $2d=8.06 \text{ \AA}$ 晶面所衍射的,这种可能性也自动排除。

为了最后确认这一点,还须了解 [130] 面的衍射是否足够强。我们查阅了 KAP 晶体的粉末衍射卡片^[1],若以 [010] 面的衍射强度作为 100,其中衍射较强 (≥ 20) 的晶面列于下表。由表可见, [130] 面的衍射强度为 40,还是相当强的。

表 KAP 平晶一些晶面的衍射强度

hkl	010	111	121	130	221
$d, \text{ \AA}$	13.32	4.982	4.179	4.030	3.338
I/I_1	100	70	30	40	25

hkl	012, 140	112	231, 022	050
$d, \text{ \AA}$	3.145	2.990	2.912	2.663
I/I_1	30	35	25	20

参 考 文 献

[1] Powder Diffraction file, 1965, Set15, 15~805.

(中国科学院上海光机所等离子体 X 线谱诊断小组)