

# 微波的布拉格衍射

张欣睿<sup>\*</sup>

北京大学化学与分子工程学院 学号：1600011783

**摘 要：**本次实验使用微波布拉格衍射装置对模拟晶体的[100]晶面和[110]晶面的衍射情况进行了测试，得出的衍射角度和理论值较为吻合，并使用单缝衍射装置对波长进行了测定。

**关键词：**微波；布拉格衍射；单缝衍射

---

<sup>\*</sup> e-mail: zhangxinrui16@pku.edu.cn; mobile number: 18801391162

## 1 实验数据及其分析、处理

### 1.1 验证布拉格衍射公式

实验开始时，调节装置共轴并用钢尺调节晶体模型，将法线方向对准分度盘  $0^\circ$ ，调节微波发射器和接收器角度，使入射角和反射角相等；调节固态微波振荡器的频率为  $9.37\text{ GHz}$ ，改变阻尼强度使电流在电流表量程之内。微波的波长为：

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{2.998 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{9370 \text{ MHz}} = 3.200 \text{ cm}$$

测定 $[100]$ 晶面的衍射强度，结果如表 1 所示。

$\theta (^\circ)$	20.0	25.0	30.0	32.0	33.0	34.0	35.0	36.0	37.0
$I (\mu\text{A})$	1.0	1.8	1.0	3.0	10.6	15.0	21.4	15.2	15.0
$\theta (^\circ)$	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	61.0	62.0	63.0	64.0
$I (\mu\text{A})$	7.0	3.4	1.6	1.8	3.2	14.2	32.0	61.2	81.8
$\theta (^\circ)$	65.0	66.0	67.0	68.0	69.0	70.0	72.0	75.0	80.0
$I (\mu\text{A})$	73.6	53.2	52.4	62.0	46.0	21.6	12.8	1.0	9.0

表 1 模拟晶体 $[100]$ 面的衍射强度测定

使用软件 Origin®绘制衍射角度和衍射强度的  $I-\theta$  曲线，如图 1 所示。

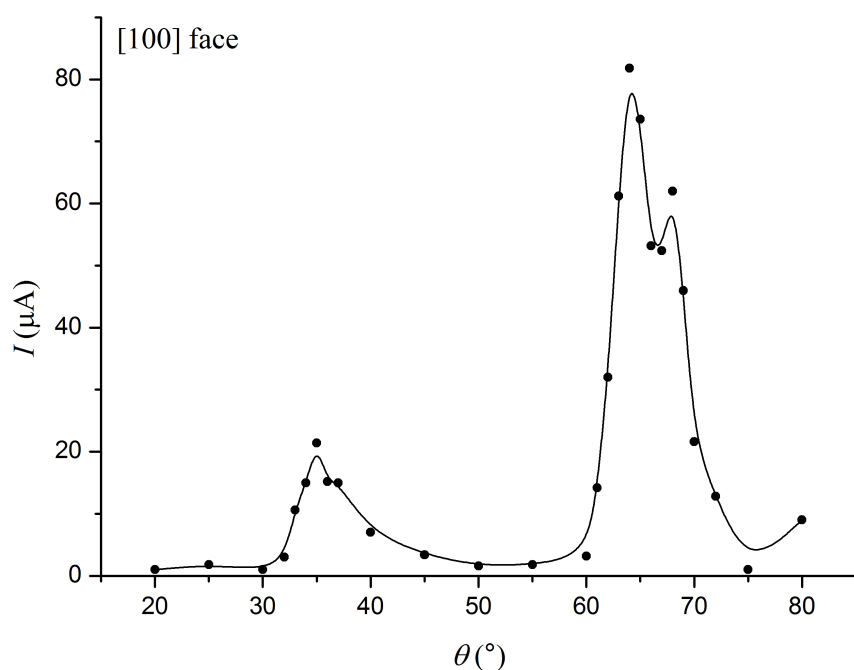


图 1  $[100]$ 晶面的衍射强度

入射角为  $68^\circ$  时的测定值出现了次极大，结果真实性存疑。图中能看到两个明显的衍射极大角度，约为  $35^\circ$  和  $64^\circ$ 。

根据布拉格衍射理论，不同点阵点的散射波形成干涉极大时，满足布拉格条件：

$$2d \cos \beta = k\lambda, \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

衍射强度达到极大时，入射角  $\beta$  可以由此计算出来：

$$\beta = \arccos \frac{k\lambda}{2d}$$

对于  $[100]$  晶面，取  $d = a = 4.0 \text{ cm}$ ， $\lambda = 3.200 \text{ cm}$ ，分别取  $k = 1, 2$  得到在  $0 \sim 90^\circ$  范围内的  $\beta$  为  $66^\circ$ 、 $37^\circ$ 。两实验值和相应的理论值均偏小  $2^\circ$ 。

测定  $[110]$  晶面的衍射强度，结果如表 2 所示。

$\theta (^\circ)$	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0	51.0	52.0
$I (\mu\text{A})$	0.6	0.6	0.4	0.6	1.6	1.8	17.8	25.0	28.2
$\theta (^\circ)$	53.0	54.0	55.0	57.0	60.0	65.0	70.0		
$I (\mu\text{A})$	28.6	23.8	15.0	2.6	1.0	0.4	0.4		

表 2 模拟晶体  $[110]$  面的衍射强度测定

同样作出衍射强度曲线，如图 2 所示。

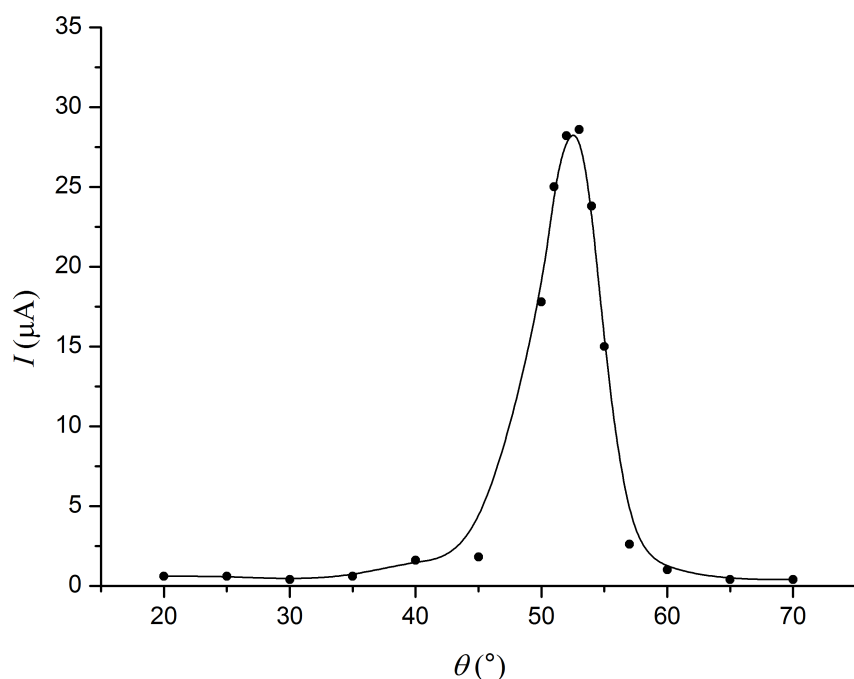


图 2  $[110]$  晶面的衍射强度

图中能看出衍射极大角度为  $53^\circ$ 。而在理论计算中, 对于  $[110]$  面, 晶面间距:

$$d = \frac{a}{\sqrt{1^2 + 1^2}} = 2.8 \text{ cm}$$

取  $\lambda = 3.200 \text{ cm}$ ,  $k = 1$ , 同理得到在  $0 \sim 90^\circ$  范围内的  $\beta$  为  $55^\circ$ 。实验值比理论值也偏小  $2^\circ$ 。

**结论:** 通过微波布拉格衍射装置可以对晶体模型的  $[100]$  面和  $[110]$  面的衍射情况进行测定。测定结果得出  $[100]$  面的衍射极大角为  $35^\circ$ 、 $64^\circ$ ,  $[110]$  面为  $53^\circ$ , 均比计算理论值偏小  $2^\circ$ 。

## 1.2 单缝衍射实验

将晶体模型更换成单缝, 单缝宽度为  $7.00 \text{ cm}$ 。将固态微波振荡器的阻尼器调成最小。从单缝两侧角度  $20^\circ$  开始测量衍射信号电流, 找到衍射极小位置, 如表 3 所示。

$\theta (^\circ)$	20.0	25.0	27.0	28.0	29.0	30.0	31.0	32.0	33.0
$I (\mu\text{A})$	85.8	12.0	2.4	1.0	0.4	0.4	0.4	0.8	3.0
$\theta (^\circ)$	-25.0	-27.0	-28.0	-29.0	-30.0	-31.0	-32.0	-33.0	-36.0
$I (\mu\text{A})$	21.2	5.0	2.0	1.0	0.4	0.2	0.4	1.0	5.6

表 3 单缝衍射实验测量结果

正向衍射一级暗纹位置取中间值  $\theta_1 = 30^\circ$ , 负向衍射一级暗纹位置取  $\theta_2 = 31^\circ$ 。两者取平均值, 衍射极小位置取  $\theta = 30.5^\circ$ 。据此可以计算微波波长:

$$\lambda = a \sin \theta = 7.00 \text{ cm} \cdot \sin(30.5^\circ) = 3.55 \text{ cm}$$

较理论值  $3.200 \text{ cm}$  相比偏差较大, 相对偏差  $10.9\%$ , 可能是单缝标称宽度不太精确, 也可能是单缝平面不垂直于微波波矢或单缝中心不位于波矢方向上造成的 (由于单缝平面无法进行精确的共轴调节), 也可能是微波有波强偏心现象。

**结论:** 通过单缝衍射也可以对微波波长进行测量, 测得波长为  $3.55 \text{ cm}$ , 相比标称值偏差  $10.9\%$ , 说明这一测量不精确, 可能的原因为单缝的放置位置和取向不合理, 也可能是微波有波强偏心。

## 2 分析与讨论

在验证布拉格衍射公式实验中, 测得的衍射极大角和理论计算值均有  $2^\circ$  的偏

差，对于三个极值点均有这一偏差，说明存在系统误差的概率很大。

这一系统误差的主要来源可能是仪器的校准仅仅使用一条拉紧的弦和目测不够精确，两个喇叭不正对彼此，也可能是微波束有发散，并存在波强偏心现象，即波强度的最大值并不在微波中心达到，导致衍射极大也不在微波中心达到，这些现象都会使极大值产生系统误差。

在单缝衍射实验中，由于电流表量程有限，如果能准确探测衍射极小值点的具体位置，则衍射主极强处已经超过量程。如果能将指针式电流表换成数字电流表，可以对衍射曲线整体做更好的描述，或者可以记录下阻尼器的阻尼大小，在极小值附近更换阻尼器，同样也可以达成这一目的。

### 3 收获与感想

本次实验使用类似分光计的一体装置进行了微波的布拉格衍射和单缝衍射实验，使我复习了分光计的相关操作，并对布拉格衍射和晶体 X 射线衍射有了更好的理解。

### 4 致谢

感谢梁君岳同学合作完成实验，感谢林峰老师对实验和仪器装置的指导和讲解。