

微波的布拉格衍射实验报告

蔡丹杨

(北京大学化学与分子工程学院 1700011774)

1 数据处理

波长的理论值 $\lambda_{calc} = c/\nu = \frac{2.998 \times 10^{10}}{9.37 \times 10^9} \text{cm} \approx 3.200 \text{cm}$ ，模拟晶体晶格常数 $a = 4.0 \text{cm}$ 。

(1) 阻尼器的标定

首先调节谐振腔，使微波振荡器的共振频率为 9.37GHz。然后，调节装置共轴、晶体模型整齐，用[100]晶面的 $\beta=40^\circ$ 和 $\beta=60^\circ$ 分别对阻尼器的较大和较小阻尼档位作了标定，结果如表 1、表 2 所示。在下面的实验中，强度曲线图中的数据均已换算成同一阻尼下的结果。

阻尼	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0
$I/\mu\text{A}$	100	95	88	81	72	63	56	49	42	36	30

表 1 $\beta=40^\circ$ 时标定阻尼器结果

阻尼	0	0.5	1.0	1.7	2.0	2.3	2.5
$I/\mu\text{A}$	21	19	16	10	6	4	3

表 2 $\beta=60^\circ$ 时标定阻尼器结果

(2) 验证布拉格衍射公式实验

按照布拉格衍射公式 $2d\cos\beta = k\lambda, k = 1, 2, 3 \dots$ ，及 d 与晶面指数、晶体常数的关系，算得在实验范围内，衍射极大角 $\beta = \arccos \frac{k\lambda\sqrt{h^2+k^2+l^2}}{2d}$ 可取的值，对[100]晶面为 $66.4^\circ (k=1)$ 、 $36.9^\circ (k=2)$ ，对[100]晶面为 $55.6^\circ (k=1)$ 。

按照实验要求，按照[100]晶面的方位摆好装置，从 $\beta=20^\circ$ 开始逐渐增大与法线夹角，记录电流表示数如表 3 所示，并画出 $I - \theta$ 曲线如图 1 所示。观察到的极大值为 39.5° 和 68° ，与理论值接近（偏差约 $+2^\circ$ ）。

$\theta/^\circ$	20	25	30	35	36	37	38	39
阻尼	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
$I/\mu\text{A}$	4	4	10	20	22	26	33	39
$\theta/^\circ$	39.5	40	41	42	47	52	57	62
阻尼	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
$I/\mu\text{A}$	41	39	28	18	1	0	2	19
$\theta/^\circ$	65	66	67	68	69	70	75	80
阻尼	2.6	2.6	2.6	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
$I/\mu\text{A}$	45	46	90	87	67	24	4	29

表 3 模拟晶体[100]面的衍射强度测定

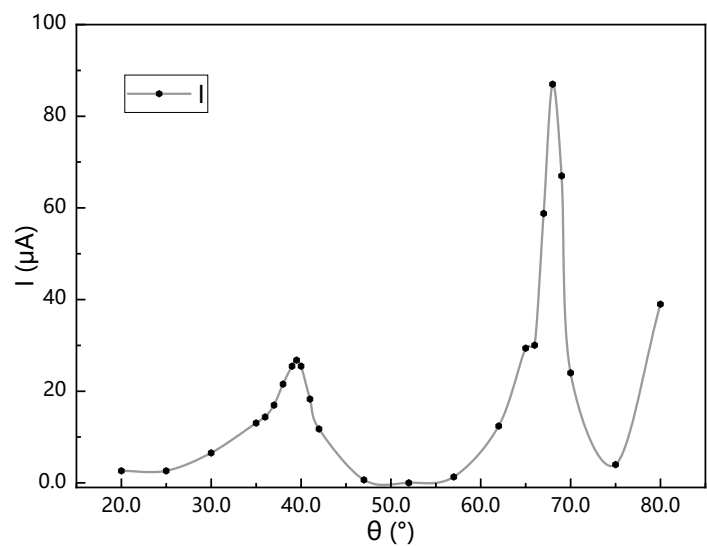


图 1 模拟晶体[100]面的衍射强度曲线

改用[110]晶面的方位，从 $\beta=20^\circ$ 开始逐渐增大与法线夹角，记录电流表示数如表 4 所示，画出 $I - \theta$ 曲线如图 2 所示。观察到极大值为 53.5° ，与理论值接近（偏差约 -2° ）。

$\theta/^\circ$	20	25	30	35	40	45	49	50	51
阻尼	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$I/\mu\text{A}$	1	0	1	3	1	1	23	60	87
$\theta/^\circ$	52	53	53.5	54	55	56	57	62	67
阻尼	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
$I/\mu\text{A}$	41	53	56	51	48	41	31	7	1

表 4 模拟晶体[110]面的衍射强度测定

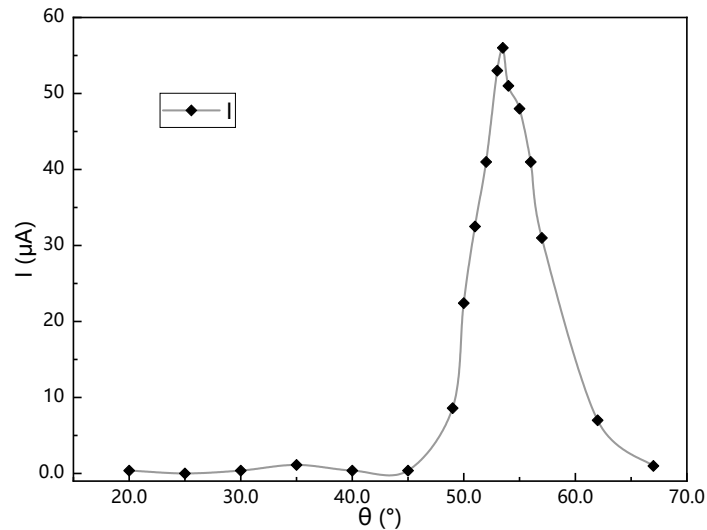


图 2 模拟晶体[110]面的衍射强度曲线

(3) 单缝衍射实验

将晶体模型更换成单缝，量得单缝宽度为 7.00cm 。从单缝中央分别向两侧测量衍射信号电流，找到衍射极小位置，记录结果表 5 所示。由于有较长一段示数很小，故未作图。

$\theta/^{\circ}$	-31	-30	-29	-28	-27	-26	-25	-20	-20	-15
阻尼	0	0	0	0	0	0	0	0	2.9	2.9
$I/\mu\text{A}$	1	0	0	0	0	0	1	48	3	28
$\theta/^{\circ}$	-10	-5	0	5	10	15	20	23	24	24
阻尼	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.3	2.3	0
$I/\mu\text{A}$	55	83	90	82	66	36	10	4	1	10
$\theta/^{\circ}$	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
阻尼	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$I/\mu\text{A}$	4	2	0	0	0	0	0	0	1	2

表 5 单缝衍射实验测量结果

由表中数据可见,左右两侧极小值对应的角度分别为 30° 和 -28° ,故取极小值角度为 29° ,计算得到微波波长为 $\lambda = a\sin\theta \approx 7.00 \times 0.485\text{cm} \approx 3.39\text{cm}$ 。

(4) 迈克尔逊干涉实验

缓慢转动手轮,在整个丝杆上共记录得 4 个极大值和 4 个极小值,结果如表 6 所示。据此作线性拟合的结果如图 3 所示,取平均值,得波长为 $2\Delta x \approx 3.17\text{mm}$ 。

极小编号 n	1	2	3	4
x_n/mm	10.863	26.476	42.025	57.907
极大编号 n	1	2	3	4
x_n/mm	18.750	34.498	51.308	66.719

表 6 迈克尔逊干涉实验测量结果

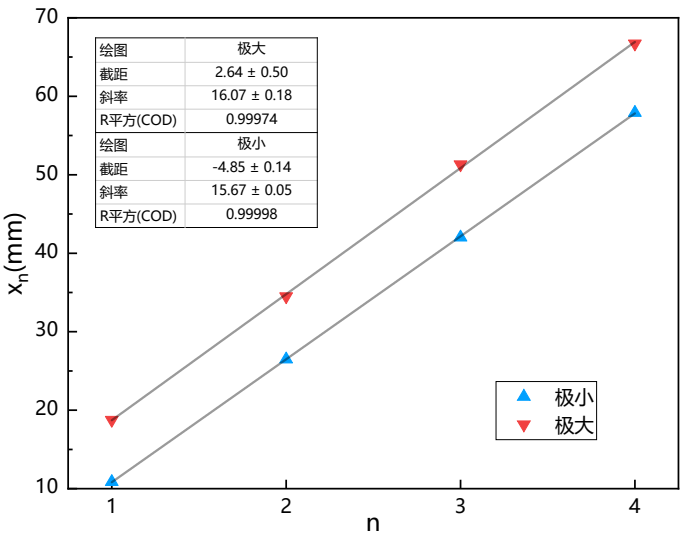


图 3 迈克尔逊干涉实验拟合曲线

2 分析与讨论

(1) 阻尼器的标定

与部分实验者全程采用较大阻尼以保证最大值不超过量程相比,我在本实验中采用了中

途更换阻尼的方法。这是因为大阻尼会使得信号较小时读数相对不确定度显著增大，因此不如先减小阻尼以提高有效数字位数，最后画图时再折算。

原本计划通过画图并作拟合，以进一步确认阻尼器的阻尼规律，但不论用线性或指数或对数拟合，相关系数 r 均不大于 0.999，无法判断阻尼的规律，需要进一步研究。

（2）验证布拉格衍射公式实验

在验证布拉格衍射公式实验中，测得的三个衍射极大角和理论计算值均有约 2° 的偏差，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：仪器校准时仅使用一条拉紧的弦，目测不够精确；实验过程中偏移造成两个喇叭不正对彼此；微波束有发散，或存在波强偏心现象，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[100]面的实验结果中，记录到 $\beta=80^\circ$ 时有一较大信号，但依据布拉格衍射公式计算的结果表明此时应是一极小值。造成这一现象的原因即此时两喇叭已基本位于一条直线上，有较大比例的微波未经衍射而直接被接收。

（3）单缝衍射实验

实验测得的波长比实际结果偏大约 6%，推测是由于单缝无法进行精确的共轴调节，平面不垂直于微波波矢，造成按照公式计算的结果与实际值有偏差。两侧的极小值角度相差不大，说明装置摆放对称性较好。

（4）迈克尔逊干涉实验

和测量声速等需要使用丝杆的实验一样，为了获得较高的测量精度，需要注意单向转动手轮以避免回程差。由于可通过将阻尼调为 0 来明显观察到极小值位置，而极大值位置附近信号变化幅度较小，因此极大值测量的结果不如极小值的线性相关系数高。本实验测量的结果是最接近理论波长的，这说明了迈克尔逊干涉仪作为实验方法的精确性是很高的。

（5）其他

实验中电流表最小分度为 $2\mu\text{A}$ ，故只估读到个位，实际肉眼能分辨到约 $0.3\mu\text{A}$ 。

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。

感谢老师对实验过程的指导，以及孙思原同学对操作仪器的帮助。