

实验 56 微波光学

光波是一种电磁波，在光波的干涉中，相位差正比于光程差和波长之比；而衍射光强分布亦取决于衍射物几何尺寸与波长的比值。因此，如果以同样倍数增大波长和器件的尺寸，光强的空间角分布就将保持不变，光学中的一些现象也就会在其他电磁波段内得以重演。也就是用波长较长的电磁波同样可作波动光学中的各种实验。微波波长远远大于光波，实验所用的器件，如狭缝等也可做得尺寸很大，再加上现象直观，使用方便、安全，所需设备制造也较易，更能在感性上认识电磁波遵守的规律。

微波一般是指波长从 $1\text{ mm}\sim 1\text{ m}$ 范围内的电磁波，本实验仅就微波的似光性，验证其具有光波的一些性质，如反射、干涉、衍射等现象。

【实验目的】

1. 了解微波分光仪的结构，学会调整并进行实验；
2. 验证反射规律；
3. 利用迈克尔逊干涉方法测量微波的波长；
4. 测量并验证单缝衍射的规律；
5. 利用模拟晶体考察微波的布喇格衍射并测量晶格常数。

【实验原理】

1. 反射实验

电磁波在传播过程中如遇到反射板，必定要发生反射。本实验是以一块金属板作为反射板来研究当电磁波以某一入射角投射到此金属板上时所遵循的反射定律，即反射线在入射线和通过入射点的法线所决定的平面上，反射线和入射线分别在法线两侧，反射角等于入射角。

2. 迈克尔逊干涉实验

如图 1-1 所示，在平面波前进的方向上放置一块 45° 的半透半反射板(玻璃板)，在该板的作用下，将入射波分成两束波，一束向 A 方向传播，另一束向 B 方向传播。由于 A、B 两板的全反射作用，两束波再次回到半透半反射板并到达接收装置(喇叭)处，于是接收装置收到两束频率和振动方向相同，而相位不同的相干微波。若两束波相位差为 2π 的整数倍，则干涉加强；若相位差为 π 的奇数倍，则干涉减弱。在实验中，将 A 板固定，B 板可移动，即可改变两列反射波的相位差。

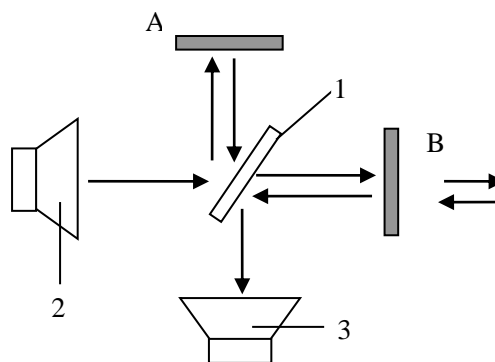


图 1-1 微波迈克尔逊实验光路图

1-玻璃板；2-发射喇叭；3-接收喇叭

3. 单缝衍射实验

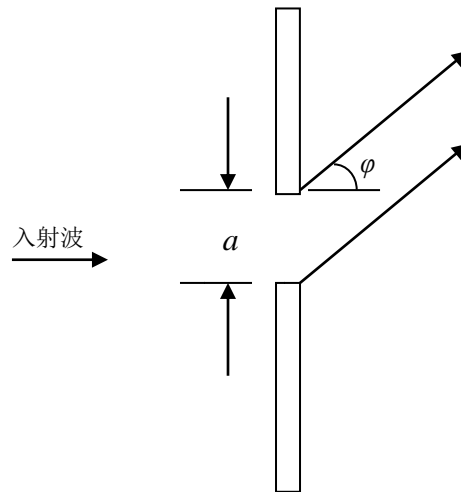


图 1-2 单缝衍射

如图 1-2 所示，当一平面波入射到一宽度可以和波长比拟的狭缝时，就要发生衍射现象。在狭缝后面出现的衍射波强度是不均匀的，中央最强，同时也最宽，在中央的两侧衍射波强度迅速减小，直至出现衍射波强度的最小值，即一级极小值，此时衍射角为

$$\varphi = \sin^{-1}(\lambda/a) \quad (1-1)$$

其中 λ 是波长， a 是狭缝宽度，两者取同一长度单位。然后，随着衍射角增大，衍射波强度又逐渐增大，直至出现一级衍射极大值，此角度为：

$$\varphi = \sin^{-1}(3\lambda/2a) \quad (1-2)$$

随着衍射角度的不断增大会出现第二级衍射极小值、第二级衍射极大值，如此不断进行下去。

4. 微波布喇格衍射实验

(1) 晶体的基本知识

所谓晶体是指粒子在空间三个方向上作周期排列的固体。粒子可以是原子、离子和分子。晶体的结构模型是空间点阵，称为晶格。粒子所在位置称为格点。这些格点可组成若干平面族（即互相平行的平面集合），每一平面族中各平面间的间距相等，而不同平面族的平面间距却不一定相等。

由于晶格具有周期性，可以取某一格点为顶点，以三个方向上的晶格周期为边长的平行六面体作为重复单元来描述晶格，这种重复单元称晶胞。晶胞可用三个方向上的单位长度（称晶格常数） a, b, c ，和它们

之间的夹角 $\alpha = \angle bc, \beta = \angle ca, \gamma = \angle ab$ 六个参数来表示，如图 1-3 所示。

按晶胞形状不同，晶体分为七个晶系，见表 1-1。

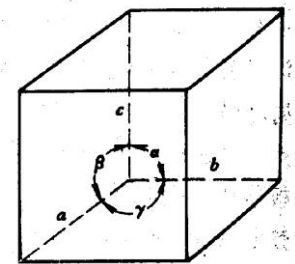


图 1-3 晶胞

表 1-1 晶体的七个晶系

立方晶系	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
六方晶系	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ \quad \gamma = 120^\circ$
四方晶系	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
六方晶系	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$
正交晶系	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
单斜晶系	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ \quad \gamma \neq 90^\circ$
三斜晶系	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$

晶面在空间的方向可用魏氏法和密氏法两种方法表示. 魏氏法是用晶面在三个方向轴上的截距来表示, 晶面记为 $2a : 3b : 6c$. 密氏法是用魏氏方向轴上截距数值的倒数的互质整数来表示. 即

$$\frac{1}{2} : \frac{1}{3} : \frac{1}{6} = 3 : 2 : 1 \quad (1-3)$$

这三个互质整数称为晶面的密勒指数, 用其标记晶面时, 不写比例符号, 只在圆括号内顺序写上指数即可, 通式为 (hkl) , 本例则为 (321) . 依照密氏法标记晶面的规则, 立方晶系中几个主要晶面应标记为 (100) 、 (110) 和 (111) , 如图 3-2-4 所示. 晶面间距 d 与点阵参数 $a, b, c, \alpha, \beta, \gamma$ 和晶面指数 (hkl) 有关, 对于立方晶系

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (1-4)$$

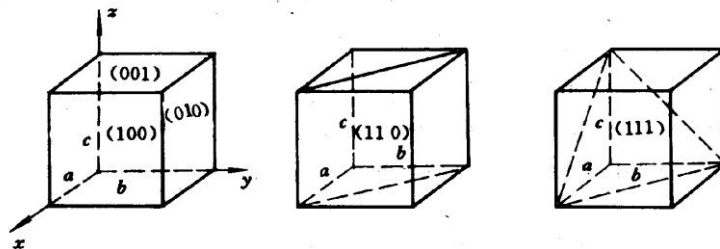


图 1-4 立方晶系中的几个晶面

(2) 布喇格公式

1913 年, 英国物理学家布喇格父子在研究 X 射线在晶面上的反射时, 发现了散射规律, 这就是著名的布喇格公式, 从而奠定了 X 射线结构分析的基础.

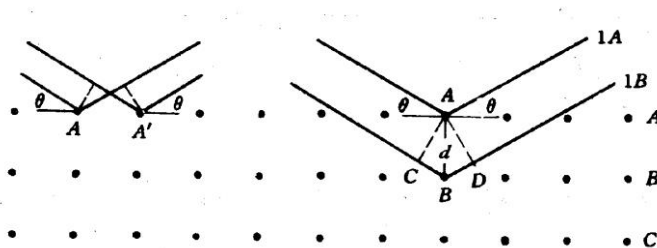


图 1-5 X 射线在某一晶面族上的衍射

$$2d \sin \theta = K\lambda \quad K=1, 2, 3, \dots \quad (1-5)$$

时,就产生干涉极大,这就是布喇格衍射公式. 式中 θ 称为掠射角(入射线与晶面间夹角), λ 为 X 射线波长. 利用此公式,可在 λ 已知时,测定晶面间距;也可在 d 已知时,测量波长 λ . 由公式还可知,只有在 $\lambda \leq 2d$ 时,才会产生衍射极大.

8. 微波发射喇叭.
9. 衰减器, 用来调节发射微波的强度.
10. 耿氏二极管, 微波由此产生, 波长为 32.02 mm.
11. 刻度.
12. 活动臂指针.
13. 活动臂.
14. 接收微波的喇叭.
15. 晶体检波器.
16. 微安表.
17. 三厘米固态信号源.

仪器附件: 反射用金属板; 玻璃板; 单缝衍射板; 模拟晶体.

【实验内容与操作】

1. 反射实验

将微波分光仪发射臂调在主分度盘 180° 位置, 接收臂为 0° 位置. 开启三厘米固态信号发生器电源, 这时微安表上将有指示, 调节衰减器使微安表指示满刻度. 将金属板放在分度小平台上, 小分度盘调至 0° 位置, 此时金属板法线应与发射臂在同一直线上, 转动分度小平台, 每转动一个角度后, 再转动接收臂, 使发射臂和接收臂处于金属板同一侧, 并使接收指示最大, 记下此时接收臂的角度值. 由此, 确定反射角, 验证反射定律. 实验中入射角在允许的范围内任取 8 个数值, 测量微波的反射角并记录.

2. 迈克尔逊干涉实验

将发射臂和接收臂分别置于 90° 位置, 玻璃板置于分度小平台上并调在 45° 位置, 两块金属板分别作为可动反射镜和固定反射镜. 两金属板法线分别与发射臂与接收臂一致, 如图 3-2-1 所示. 实验时, 将可动金属板 B 移到导轨的左端, 从这里开始使金属板缓慢向右移动, 依次记录微安表出现极大值时金属板在标尺上的位置. 若金属板移动距离为 L , 极大值出现的次数为 $n+1$, 则

$$n\left(\frac{\lambda}{2}\right) = L$$

$$\lambda = \frac{2L}{n} \quad (1-6)$$

这便是微波的波长. 再令金属板反向移动, 重复上面操作, 最后求出两次所得微波波长的平均值.

3. 单缝衍射实验

预先调整好单缝衍射板的宽度 (70 mm), 该板固定到支座上, 并一起放到分度小平台上, 单缝衍射板要和发射喇叭保持垂直, 然后从衍射角 0° 开始, 在单缝的两侧使衍射角每改变 1° 读取一次表头读数, 并记录. 由于本实验的单缝衍射板较小, 衍射角度不能过大, 同时考虑到第一级衍射极大值的强度比中央极大值的强度弱很多的实际情况, 将本实验分成三段, 第一段从 $-30^\circ \sim 30^\circ$, 第二段 $30^\circ \sim 50^\circ$, 三段 ($-30^\circ \sim -50^\circ$). 画出三段的 $I-\varphi$ 实验曲线图, 根据微波波长和缝宽, 算出一级极小和一级极大的衍射角与实验曲线上求得的结果进行比较.

4. 微波布喇格衍射实验

用微波代替 X 射线验证布喇格公式, 必须制作一个模拟晶体, 使晶格常数略大于微波波

长. 模拟晶体是由 $\Phi 10\text{ mm}$ 的金属球做成的立方晶体模型, 相邻球距为 40 mm , 这些金属球就相当于晶体点阵中的粒子. 实验时, 将模拟晶体放在分度小平台上.

首先令分度小平台指示在 0° 位置, 这样晶体的 (100) 面与发射臂平行. 固定臂指针指示的是入射角 (掠射角为 90° 减去这入射角); 活动臂指针指示的是经晶体 (100) 面反射的微波的反射角 (其散射角为 90° 减去这反射角). 转动分度小平台, 改变微波的掠射角, 掠射角的测量范围 $15^\circ\sim 35^\circ$ 、 $45^\circ\sim 60^\circ$, 保证散射角与掠射角相等, 分度小平台每次转动 1° , 读取接收检波电流 I 值, 再绘出 $I-\theta$ 曲线图. 从实验曲线上求出极大值 θ 角大小, 然后与理论公式 (1-5) 计算出来的衍射角相比较 (用理论公式计算时, 取 $K=1$, $d=40\text{ mm}$, $\lambda=32.02\text{ mm}$), 计算其偏离程度, 并分析其原因.

【数据处理】

对每一实验的测量数据, 要求自己设计数据记录表, 计算, 作图必须使用方格坐标纸.

【参考文献】

1. 王诗进. 大学物理实验. 北京: 航空工业出版社, 1990.
2. 李允中等. 基础光学实验. 天津: 南开大学出版社, 1987.