

实验 56 微波的布拉格衍射

微波是波长在 $1\text{ mm} \sim 1\text{ m}$ 范围的电磁波，是无线电波中波长较短的频段的简称，它具有穿透、反射、吸收等主要特性，微波能够几乎不被吸收地穿越玻璃、塑料和瓷器等；当遇到金属时，微波会被反射；而当遇到水和食物时，则几乎被完全吸收并转化成熟，因此可方便地加热食物。另外，微波具有类光的特性，例如具有直线传播、干涉、衍射等特性，而微波的波长正好处于人们方便观测的范围，因此用微波做波动实验具有直观、方便、经济等的优势，例如用微波代替 X 射线进行的布拉格衍射实验。

X 射线的波长很短，范围为 $0.01 \sim 10\text{ nm}$ ，和晶体中相邻原子间的距离具有相同的数量级。1912 年布拉格父子从 X 射线被原子面“反射”的观点出发，提出了非常重要和实用的布拉格定律（布拉格公式），利用该公式可以探测未知 X 射线的波长，另外当 X 射线的波长已知时，可以对晶体结构进行研究。

本实验用微波代替 X 射线，用模拟晶体代替真实晶体，学习晶体衍射的相关知识。

【预习重点】

- (1) 了解微波的产生及性质。
- (2) 了解晶体结构、晶体衍射、布拉格公式的相关知识。
- (3) 了解微波布拉格衍射仪的结构。
- (4) 搞清微波布拉格衍射实验的方法步骤。

【实验目的】

学习晶体衍射的相关知识，学习用微波代替 X 射线、用模拟晶体代替真实晶体的实验方法，并利用微波布拉格衍射仪测量模拟晶体的晶格常数。

【实验仪器】

微波布拉格衍射仪（国内第一台微波布拉格衍射仪是天津大学物理系研制的）主要由微波发射部分、微波探测部分、分光计和模拟晶体等组成，如图 56-1 所示。分光计包括固定支臂、可动支臂和测角分度转台。微波发射部分安装在分光计的固定支臂上，主要包括微波发生器和发射喇叭。微波探测部分安装在分光计的可动支臂上，主要包括接收喇叭、衰减器和微安表。模拟晶体连同支架安装在位于中心轴的测角分度转台上。

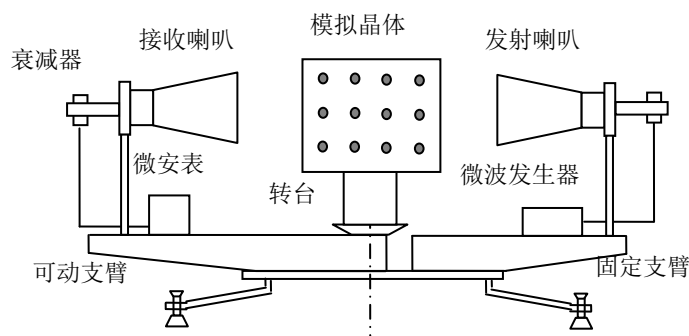


图 56-1 微波布拉格衍射仪示意图

【实验原理】

1) 晶体结构

固体物质有晶体、准晶体和非晶体三类。晶体的组成粒子在空间形成规则排列，不同晶体，这种规则排列形式可能不同，称晶体具有不同的晶体结构，其中最简单的是简单立方结构。在简单立方结构中，粒子在相互垂直的三个方向上的排列形式完全相同。将晶体结构抽象为空间点阵，称为晶格。图 56-2 给出了简单立方晶格的点阵示意图。通过格点的平面称为晶面，两个相邻的平行晶面间的距离称为晶面间距，用 d 表示。晶面取向不同，晶面间距可能不同。一般用密勒指数 (hkl) 代表晶面的取向。相互平行的晶面，取向相同，因而具有相同的密勒指数。密勒指数的确定方法：选取平行晶面中距坐标原点最近的晶面，取坐标轴在该晶面的截距的倒数的最简整数比 $h:k:l$ ，则 (hkl) 就是该组平行晶面的密勒指数。图 56-3 给出了三维及二维简单立方晶格的某些晶面、密勒指数及晶面间距。

在简单立方晶格中，相邻格点间的距离（即晶格常数，用 a 表示）和晶面间距之间满足如下关系

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (56-1)$$

所以有 $d_{100} = d_{010} = d_{001} = a$ ， $d_{110} = d_{011} = d_{101} = \frac{a}{\sqrt{2}}$ 。其它晶格的晶格常数和晶面间距之间的关系要复杂一些。

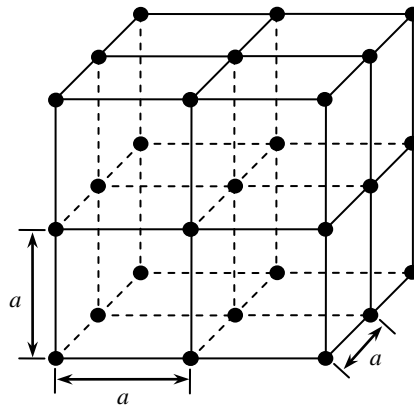


图 56-2 简单立方晶格点阵示意图

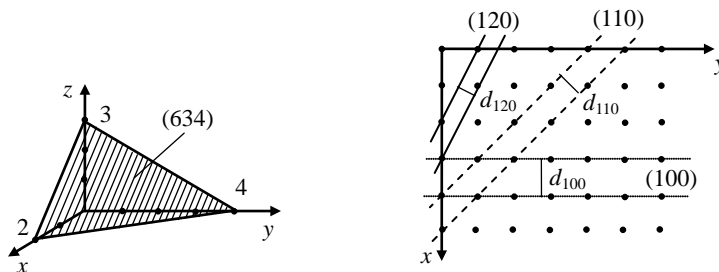


图 56-3 晶面及其密勒指数

2) 布拉格公式

当 X 射线入射到晶体时将发生衍射现象，图 56-4 给出了一束平行 X 射线在二维简单立方晶格某晶面的衍射情形。对于同一晶面上的格点来说，不论 X 射线以怎样的角度入射晶体表面，波程总会相同，如图 56-4 (a) 所示，因此反射波叠加不会形成干涉现象。不同晶面上的格点，其波程不同，如图 56-4 (b) 所示的相邻晶面的波程差为 $2d \sin \theta$ ，当不同晶面的波程差为波长的整数倍时，反射波将相干加强，因而，随着 X 射线入射角度发生变化，就有可能发生干涉现象。其中干涉加强的条件为

$$2d \sin \theta = k\lambda \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (56-2)$$

该式称为布拉格公式，其中 d 为晶面间距， λ 为入射波的波长， θ 为掠射角（入射波线与晶面间的夹角）， k 为干涉加强的级数。

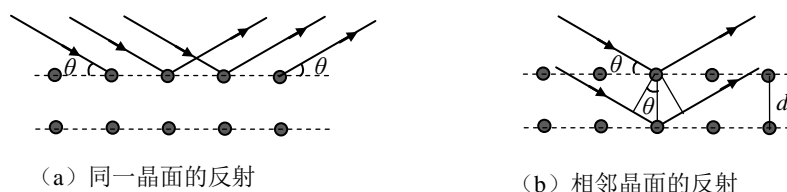


图 56-4 晶面反射

3) 迈克耳孙干涉法测量微波波长

实验所用微波的波长可用迈克耳孙干涉方法进行测量。迈克耳孙干涉法实验装置如图 56-4 所示。其中固定反射板和可动反射板为铝板，半反半透板为一块厚度约 2 mm 的普通平板有机玻璃，它与固定反射板和可动反射板各成 45° 角放置。当可动反射板移动距离 l 时，该路路程改变量为 $2l$ ，设在该过程中发生 N 次干涉加强，则所测微波波长为

$$\lambda = \frac{2l}{N} \quad (56-3)$$

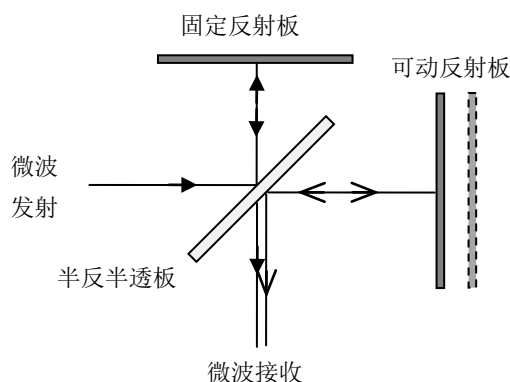


图 56-5 迈克耳孙干涉法测微波波长示意图

【实验内容及要求】

1) 用迈克耳孙干涉法测量微波波长

使微波布拉格衍射仪的固定支臂和可动支臂位于一条直线，两喇叭口正对，调节衰减器使微安表指针达到合适位置。按要求安装迈克尔孙干涉法所用器材（图 56-5），移动可动反射板，测出微安表连续出现 4 次极大时可动反射板的位置，用逐差法求出反射板移动的距离，按式 (56-3) 求出微波波长。

2) 晶格常数的测量

- (1) 将模拟晶体及支架按图 56-1 安装, 固定支臂和可动支臂分别位于 0° 和 180° 位置, 模拟晶体 (100) 晶面与两支臂连线平行, 适当调节衰减使信号较强。转动安装模拟晶体的转台及可动支臂, 当转台转过 θ 角时, 可动支臂要转动 2θ 角(位于 $180^\circ - \theta$ 位置)。依次记录掠射角 θ 在 $20^\circ \sim 60^\circ$ 范围的 θ 值和微安表的读数, θ 每改变 1° , 记录一组数据。
- (2) 分别将 (110) 晶面和 (120) 晶面作为反射点阵面, 测出不同掠射角时的电流值, 步骤同上。
- (3) 自拟数据表格, 在坐标纸上绘出 $I \sim \theta$ 曲线, 得出 (100) 晶面一级和二级、(110) 晶面和 (120) 晶面一级衍射极大时的掠射角。
- (4) 根据 (56-2) 布拉格公式, 计算各自的晶面间距, 并分别代入式 (56-1) 计算晶体的晶格常数。最后求出晶格常数的平均值并与用直尺直接测量的数值比较, 求相对百分差。