

材料对 X 射线的衰减系数 μ 与原子序数 Z 的关系

武汪洋 08300300054 材料物理

摘要

本实验利用两种得到单色 X 射线的方法测量了 C、Al、Fe、Cu、Zr、Mo、Ag 七种材料的衰减系数 μ ，得到其与原子序数 Z 的关系。

关键词 X 射线 衰减系数 原子序数

引言

1895年德国物理学家伦琴在研究阴极射线的时候发现，阴极射线射到玻璃管壁上时，玻璃管壁会发出一种看不见的射线，这种射线的穿透本领很大，能够使放在厚纸后面的荧光物质发光，并且能使包在黑纸里的感光胶片感光。这种射线即被称为X射线或X光，为了纪念伦琴，又被称为伦琴射线。X射线穿过物质时会被吸收，且不同的材料对X射线的吸收不同。

实验部分

实验原理

Mo 靶产生的 X 射线为连续谱线，由于物质对 X 射线的吸收与其波长有关系，因此需要对 X 射线进行分光。

根据布拉格公式：

$$2d\sin\beta = k\lambda \quad (1)$$

式中 d 为晶体的晶面间距， β 为衍射角， k 为衍射级次， λ 为 X 射线的波长。当测量仪器的角度（即衍射角）确定时，根据（1）式即可得到 K_α 特征 X 射线。

得到单色 X 射线还可以使用滤波片法，原子序数低于靶元素原子序数 1 或 2 的元素，其 K 吸收限波长正好在靶元素的 K_α 和 K_β 波长之间，可用该元素制成的滤波片吸收大部分 K_β 射线，从而近似得到单色的 K_α 特征 X 射线。本实验所用靶材为 Mo 靶，故可用 Zr 吸收片作滤波片。

X 射线在某种材料中的衰减满足如下的指数关系：

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu d} \quad (2)$$

式中 I 是出射 X 射线的强度， I_0 是入射 X 射线

的强度， μ 为该材料的衰减系数， d 为该材料的厚度。（2）即为朗伯定律，由（2）式可以得到：

$$\mu = \ln \frac{I}{I_0} / d$$

实验方法

方法 1、用晶体衍射法得 K_α 特征射线

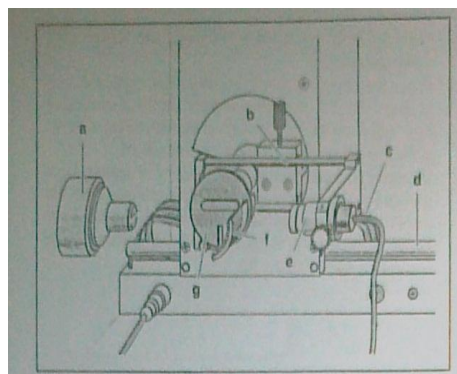
- 1.1 测定 LiF 晶体对应 K_α 谱线的散射角，各参数为： $U=35\text{kV}$ ， $I=1\text{mA}$ ， $\Delta t=3\text{s}$ ， $\Delta\beta=0.1^\circ$ ， $\beta\downarrow=4.0^\circ$ ， $\beta\uparrow=33^\circ$ 。
- 1.2 将仪器角度调整至该角（衍射角）对应的射线为 K_α 特征射线。
- 1.3 在计数器前加 Al、Cu、Zr、Mo、Ag 吸收片及不加吸收片。

方法 2、用滤波片法得 K_α 特征射线

- 2.1 在 X 射线出射狭缝之前加 Zr 吸收片。
- 2.2 在靶台上放吸收板附件套 2（由厚度为 0.05cm 的六种材料 C、Al、Fe、Cu、Zr、Ag 的吸收片构成）。
- 2.3 置 X 管高压为 30kV，靶台每次转动 $\beta=10^\circ$ 。

实验仪器

本实验使用德国莱宝公司的 X 射线实验仪



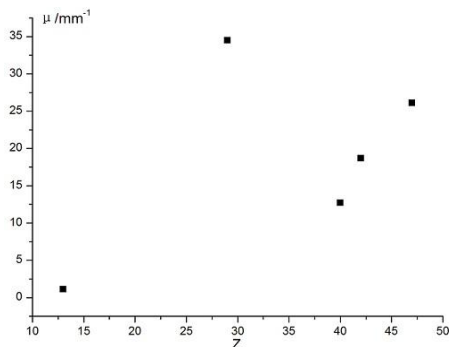
结果与讨论

1、由实验方法 1 得到数据

	Z	d/mm ⁻¹	I ₀ /s ⁻¹	μ /mm ⁻¹
Al	13	0.5	560	1.10
Cu	29	0.07	87	34.48
Zr	40	0.05	515	12.70
Mo	42	0.1	150	18.69
Ag	47	0.05	264	26.70

不加吸收片时 $I=972s^{-1}$

作衰减系数对原子序数的图像:



图一 方法 1 得到的 $\mu \sim Z$ 图像

从图上可看出: 由于点太少, 衰减系数与原子序数的具体关系不能确定, 但可以肯定原子序数 Z 大于 40 时衰减系数 μ 随原子序数 Z 增大。

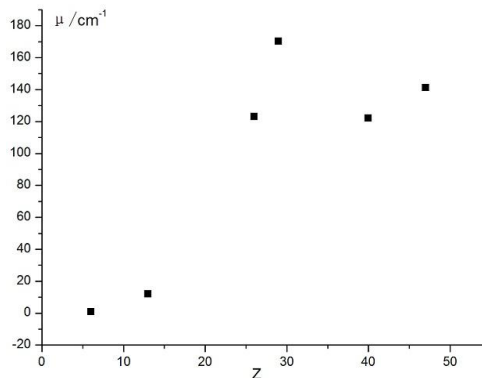
2、有实验方法 2 得到数据

	Z	I/mA	t/s	R	R1	μ /cm ⁻¹
None		0.02	30	651.2	32560	
C	6	0.02	30	622	31100	0.92
Al	13	0.02	30	357.6	17880	11.99
Fe	26	1	300	69.23	69.23	123.07
Cu	29	1	300	6.573	6.573	170.16
Zr	40	1	300	72.59	72.59	122.12
Ag	47	1	300	28.12	28.12	141.09

其中 I 为 X 射线管的管流, t 为求取统计平均值的时间段, R 为出射 X 射线的计数率, $R1$ 为当管流为 1mA 时计算的计数率即统一后出射 X 射线的强度 I_0 。

这样设置参数是为了使 C、Al 及无吸收片时的计数率在计数器的线性范围内 (R 小于 $1500s^{-1}$), 以及 Fe、Cu、Zr、Ag 的计数率能够大一些。

作衰减系数与原子序数 Z 的图像



图二 方法 2 得到的 $\mu \sim Z$ 图像

从图像中可以看到, 当原子序数小于 30 时, 衰减系数 μ 随原子序数 Z 递增; 而原子序数较大时由于点少其关系不确定。

结论

综合方法 1 和方法 2 的结果可以得到衰减系数 μ 与原子序数 Z 的关系为分段函数:

当原子序数较小时, 衰减系数 μ 随原子序数 Z 递增; 当原子序数较大时, 衰减系数 μ 随原子序数递增; 其分界点原子序数 Z 在 30—40 之间。

致谢

感谢姚红英老师的指导;
感谢搭档刘哲郡的合作。

参考文献

- 1、莱宝公司 X 射线试验仪说明书
- 2、近代物理实验补充讲义 X 光系列实验
- 3、尚玉华, 刘志东, 徐乐英 软射线质量吸收系数的测定 材料研究学报 第 13 卷第 6 期
- 4、龙刚 韦玉鸾 浅述 X 射线的穿透特性 科技创新导报 2008 NO.02