

钨酸铅晶体的辐照损伤研究*

李祖豪 何景棠 吕雨生 陈端保 卞建国 朱国义 唐孝威

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

摘要 报道对钨酸铅晶体作低剂量辐照损伤研究的实验装置、方法和结果。利用北京计量科学研究所的小型 ^{60}Co 放射源对4块钨酸铅晶体作了辐照损伤的实验,发现光产额随辐照剂量的增加呈现指数衰减,最后趋于饱和。

关键词 钨酸铅晶体 光产额 辐照损伤

1 前言

欧洲核子研究中心 CERN 正在建造大型强子对撞机 LHC, 钨酸铅晶体 (PbWO_4 简写 PWO) 已被将工作在 LHC 上的 CMS 探测器初步定为电磁量能器的探测晶体^[1]。由于 LHC 是一个高流强的质子-质子对撞机, 工作在 LHC 上的探测元件必然要经受大剂量的辐照。按蒙特卡罗模拟, CMS 电磁量能器的桶部剂量率约为 20rad/h ^[2]。为了模拟真实的实验条件, 我们对 4 块国产 PWO 晶体作了低剂量率 (约 20rad/h) 的辐照损伤研究。

2 实验研究

利用北京计量科学研究所的小型 ^{60}Co 放射源, 对 4 块国产钨酸铅晶体作了辐照损伤的研究。

2.1 低剂量率辐照源

^{60}Co 放射源在距离源 110cm 处产生一个 $15 \times 15\text{cm}^2$ 的方形均匀辐照场, 辐照强度的均匀性差别不超过 1%。对应的 PWO 吸收剂量率为 18rad/h ; 在距源 100cm 处产生的方形均匀辐照场面积为 $13 \times 13\text{cm}^2$, 对应的 PWO 吸收剂量率为 20rad/h 。

辐照源可以通过气泵推动在管道内移动, 需要辐照时将气泵开关打到辐照, 源就被推到辐照位置; 不需要辐照时将气泵开关打到储存, 源就被推动到储存位置。

被照射的物体放于实验台上, 实验台可以通过有刻度的导轨移动。在导轨尾部有一

1998-10-29收稿, 1999-03-10收修改稿

* 中国科学院资助项目

激光器, 可以用激光束对被照射物体进行定位, 确定被照射物在辐照场中的位置. x, y, z 方向上定位的精度好于 1mm.

2.2 光产额的测量

光产额的测量装置如图 1 所示.

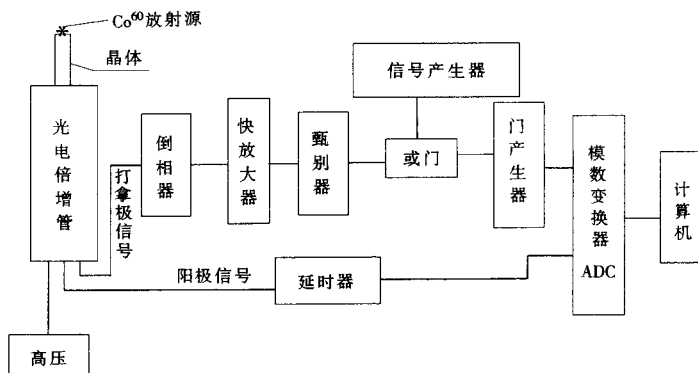


图1 光产额测量装置图

将 PWO 晶体六面抛光, 五面用 tyvek 白纸包裹, 另一面用硅油耦合到 XP2262B 光电倍增管上, 小型的标准 ^{60}Co 源放在晶体的顶端 (远离耦合端)。

光电倍增管最后一级打拿极信号经过线性门 (这里用它的倒相功能)、快放、甄别器后, 产生 50ns 宽的标准 NIM 信号, 与脉冲发生器产生的 50ns 的标准 NIM 信号经过或门后输入到门产生器, 产生 200ns 宽的门信号, 送到 ADC2249a。

光电倍增管阳极信号经过延迟后送到 ADC2249a。

用 CAMAC 系统连接计算机读出 ADC 信号, 可以同时测得台阶和能谱。

对测得的数据用意大利罗马大学提供的程序进行拟合得到全能峰和单光电子的峰位, 以及各自的台阶, 根据公式:

$$\text{光产额} = \frac{\text{全能峰峰位} - \text{台阶}}{\text{单光电子峰峰位} - \text{台阶}}$$

求得光产额值。

实验时的温度对光产额有影响, 要作温度修正. 20°C 左右温度修正系数为 $-2\%/^\circ\text{C}$ [2]。

2.3 辐照损伤的测量

测量较长的晶体时, 将晶体置于距源 110cm 处, 晶体顶端 (远离光电倍增管端) 15cm 暴露在辐照场中, 晶体其余部分及光电倍增管用 10cm 厚的铅砖屏蔽; 测量较短晶体时, 将晶体置于距源 100cm 处, 晶体底部 (与光电倍增管耦合端) 1cm 及光电倍增管用 10cm 厚的铅砖屏蔽, 晶体其余部分暴露于辐照场。

用水银温度计测量实验室温度, 同时将 Pt100 铂感温元件贴于被辐照的晶体表面, 以测量晶体的温度变化. 实验室是恒温的, 整个实验过程中温度变化不超过 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

被辐照的晶体用硅油与光电倍增管耦合且作避光封装后, 按要求的剂量率放于距源

一定距离处,等待 10 小时以上,以便使被测晶体与实验室温度达到平衡.

开始辐照前先测量晶体的光产额,作为晶体的光产额的初始值.

然后去掉光电倍增管高压,将气泵开关打到辐照位置.晶体辐照两小时后,将气泵开关打到储藏位置,然后将光电倍增管加高压,待稳定 20 分钟后再测量 PWO 的光产额.

测量结束后降高压,再进行辐照.如此反复作测量—辐照.

等到累积剂量约 500rad 时,停止实验.

3 实验结果及讨论

我们对北京玻璃研究所提供的 4 块钨酸铅晶体进行了辐照损伤的研究,表 1 为辐照前

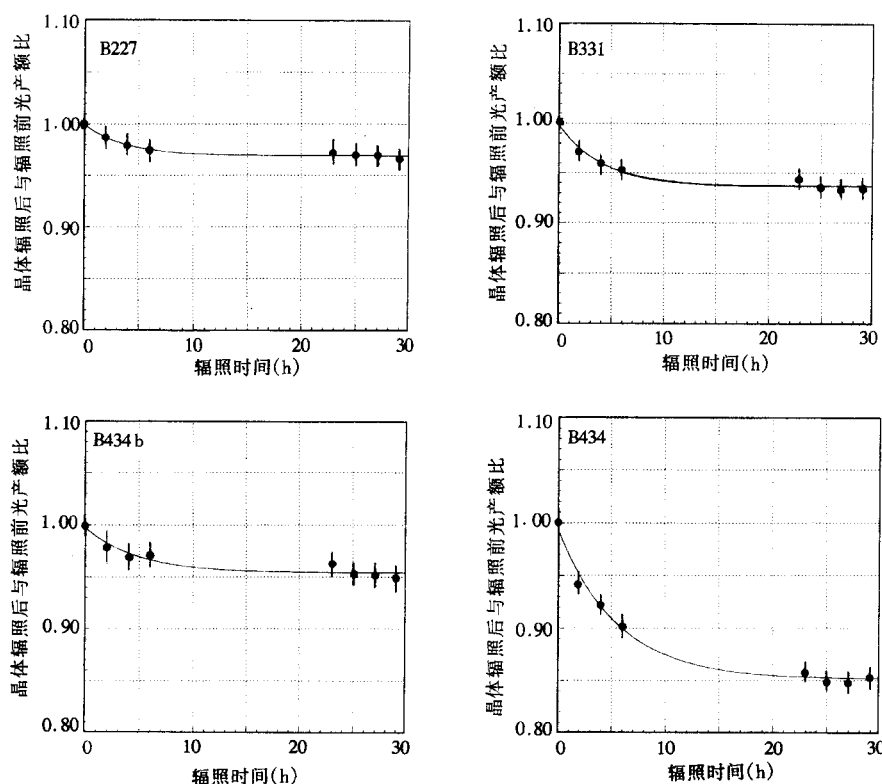


图2 4块晶体(编号分别为B227、B331、B434b、B434)光产额随辐照时间的变化图

晶体的光产额;表 2 为经过约 580rad 以后的光产额的变化.图 2 为 4 块晶体(编号为 B227、B331、B434、B434b)光产额随辐照时间的变化关系图.图中横坐标为辐照剂量,纵坐标为晶体光产额与照射前晶体光产额的比值.图中带误差棒的点为实验点,实线为拟合曲线.

可以看出晶体经过照射以后光产额的变化基本呈现一种指数的规律,最后趋于一个饱和值.这种变化规律很有意义,因为我们作辐照实验的剂量率正好跟 CMS 晶体量能器桶部剂量率相似,这就是说:如果 CMS 晶体量能器使用 PWO 晶体,那么经过一定时间以

表1 辐照前晶体的光产额

晶体编号	光产额 (p.e/MeV)	尺寸
B227	9.4 ± 0.3	2cm×2cm×5cm
B331	9.4 ± 0.3	2cm×2cm×4.5cm
B434b	10.8 ± 0.2	2cm×2cm×5cm
B434	9.1 ± 0.3	2cm×2cm×4cm

表2 经过580rad照射后晶体光产额的变化

晶体编号	光产额的变化
B227	$-(3.1 \pm 1.2)\%$
B331	$-(6.2 \pm 1.2)\%$
B434b	$-(4.4 \pm 1.6)\%$
B434	$-(14.4 \pm 1.2)\%$

后,晶体的光产额会处于一种相对稳定的状态,这样便于实验数据的刻度和重建.

我们还需要对 PbWO_4 晶体辐照损伤的恢复作实验,这些实验有待以后继续研究.

在本研究工作中,得到了北京玻璃研究所陈刚教授和苏黎士高等理工学院霍佛教授的支持和合作,包括提供晶体样品和其它各种帮助.还有北京计量院电离辐射处的同志,他们提供的低剂量辐射源是我们实验的关键,特此一并感谢.

参 考 文 献

- 1 CERN/LHCC 94-38, LHCC/P1, Dec. 1994
- 2 CERN/LHCC 97-33 CMS TDR4, 15 Dec. 1997

Study on Radiation Damage of Lead Tungstate Crystals*

Li Zuhao He Jingtang Lü Yusheng Chen Duanbao

Bian Jianguo Zhu Guoyi Tang Xiaowei

(Institute of High Energy Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

Abstract This paper presents a study on radiation damage of lead tungstate crystals (PbWO_4), including experimental setup, experimental method and results. Four PbWO_4 crystals were irradiated and the light yield of PWO crystal before irradiated and after irradiated were measured. The changes of light yield of PbWO_4 with an exponential attenuation was found.

Key words light yield, radiation damage, lead tungstate crystal

Received 29 October 1998

* Project Supported by Science Foundation of Chinese Academy of Science