

钨酸锌晶体光子探测性能研究

朱国义 何景棠 顾以藩 钱忠敏

(中国科学院高能物理研究所,北京)

徐玉恒 万立德 陈刚 何正淑

(哈尔滨工业大学)

摘 要

本文报导对国产钨酸锌 ($ZnWO_4$) 晶体光子探测性能研究的一些结果,包括吸收光谱和发射光谱、相对于 NaI(Tl) 晶体的光产额、能量分辨率对能量的依赖关系、能量响应的线性以及光产额的温度效应。

一、引 言

钨酸盐单晶的闪烁性能早在四十年代末已被发现。由于制备上的困难,长期以来,仅有 $CaWO_4$ 和 $CdWO_4$ 得到有限的应用。最近几年里,质量较高的 $ZnWO_4$ 单晶生长成功,其闪烁性能开始为人们注意^[1-4]。这种晶体具有与 BGO 几乎相同的辐射长度及莫里哀半径,以及明显高于 BGO 和 BaF_2 的发光强度,而且原料价格便宜。表1比较了 $ZnWO_4$ 和几种晶体的若干基本特性。

现在国外 $ZnWO_4$ 小块晶体已有商品出售,国内若干单位近一两年来也开展了钨酸盐类闪烁体的生长研究,取得了可喜的结果。本文报导在国产 $ZnWO_4$ 晶体样品上取得的一些测量结果。 $ZnWO_4$ 晶体是在哈尔滨工业大学生长的,测量则主要是在高能物理研究所进行的。

表1 $ZnWO_4$ 和几种无机闪烁晶体的若干特性比较

闪烁材料	NaI(Tl)	CsI(Tl)	BaF ₂	BGO	ZnWO ₄
密度(g/cm ³)	3.67	4.51	4.88	7.13	7.87
辐射长度(cm)	2.59	1.86	2.15	1.12	1.13
潮解性	潮解	稍有	不	不	不
相对光产额(%)	100	45	~20	8-16	26

二、测试结果

1. 吸收光谱和发射光谱

利用光谱仪测量了国产 $ZnWO_4$ 晶体的吸收光谱和发射光谱。结果如图 1 所示。从图看到, $ZnWO_4$ 发射光谱的最大值在 $\sim 480nm$ 处, 这与普通光电倍增管和光电二极管的光谱响应特性相匹配。此外, 吸收光谱和发射光谱并不重叠, 这意味着 $ZnWO_4$ 对其本身所发出的荧光是透明的, 荧光沿大尺寸晶体传输时, 没有严重的衰减。

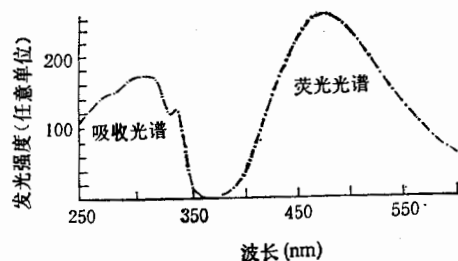


图 1 $ZnWO_4$ 晶体的吸收光谱和发射光谱

2. 相对光产额

利用对整个信号脉冲进行积分的方法, 测量了 $ZnWO_4$ 样品相对于 $NaI(Tl)$ 晶体的光产额比值。表 2 列出了四块样品对 ^{137}Cs 放射源的 $0.662MeV$ γ 射线的测量结果。

四块 $ZnWO_4$ 晶体的相对光产额约为 $NaI(Tl)$ 晶体光产额的 20%, 最好的达 25.6%。

表 2 $ZnWO_4$ 单晶的相对光产额

编号	1	2	3	4	$NaI(Tl)$
尺寸(mm)	17×11×3	20×10×1.5	18×11×3	36×6×3	$\phi 20 \times 20$
表面处理*	一个侧面打毛	全部抛光	全部抛光	四个侧面打毛	
颜色	无色	无色	无色	无色	无色
相对光产额(%)	18.7	25.6	19.2	19.7	100

* 除与光电倍增管耦合面外, 其余表面均用镀铝漆涂膜作为反射层。

3. 能量分辨率

利用 GDB44 光电倍增管测量了四块 $ZnWO_4$ 晶体样品对 ^{137}Cs 的 $0.662MeV$ γ 射线能量分辨率 (FWHM)。测量结果列于表 3 中。在 4 号样品上应用 ^{57}Co 、 ^{137}Cs 和 ^{22}Na 三种 γ 放射源测量了能量分辨率和 γ 射线能量 E_r 的关系。结果如图 2 所示。由图可以得出下列关系式:

$$\Delta E/E = 16\% / \sqrt{E(\text{MeV})}$$

能量分辨率和入射光子能量服从 $E^{-1/2}$ 关系, 反映了在低能区晶体的能量分辨特性是由光电子的统计涨落所决定的。

表 3 ZnWO₄ 晶体对 ¹³⁷Cs 的 0.662 MeV γ 射线能量分辨率

编号	1	2	3	4
FWHM(%)	20.0	18.8	19.8	21.1

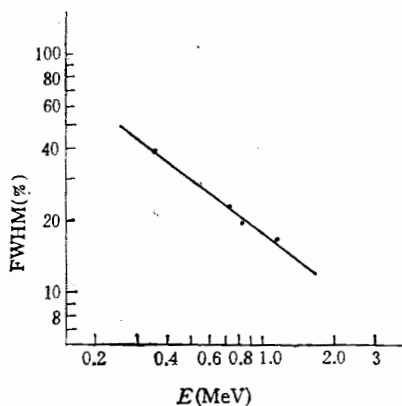


图 2 ZnWO₄ 晶体能量分辨率和 γ 射线能量的关系

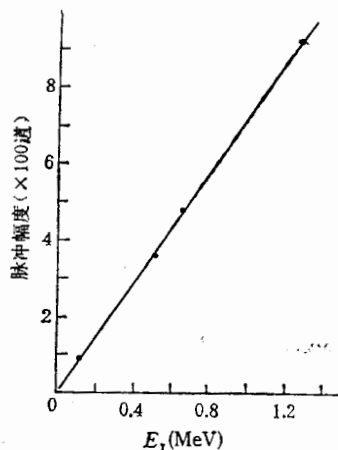


图 3 ZnWO₄ 晶体能量响应的线性关系

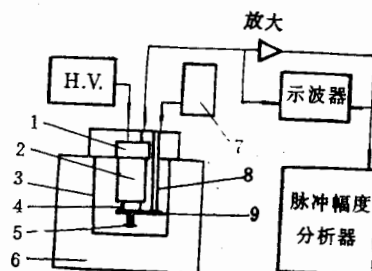


图 4 测量温度效应的装置

1.底座 2.光电倍增管 3.暗盒 4.晶体 5.放射源 6.恒温箱 7.半导体温度计 8.温度计探头 9.导热铜板

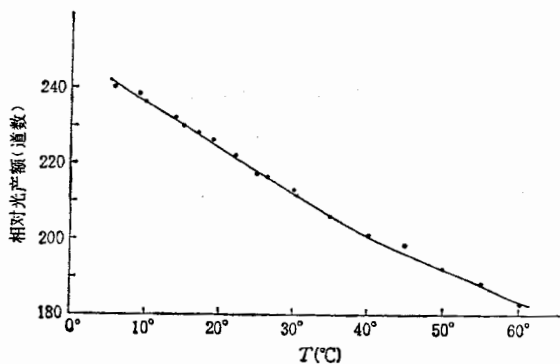


图 5 ZnWO₄ 晶体的温度效应

4. 能量响应线性

在 4 号样品上测量了 ZnWO₄ 单晶对不同能量 γ 射线的能量响应。图 3 展示了晶体

从
管
本

的

达

)

)

射
²²Na
图可

是由

能量响应的线性关系。

5. 光输出的温度效应

图4是测量 $ZnWO_4$ 晶体光输出温度效应的装置示意图。利用铂电阻探头配合数字读出测量晶体表面温度。在 $4\sim 60^\circ C$ 的范围内,测量结果如图5所示。当 $T = 20^\circ C$ 时,光输出对于温度的变化率约为 $-5.4 \times 10^{-3}/^\circ C$ 。负号表示温度上升,光输出下降。

三、讨 论

国产 $ZnWO_4$ 单晶相对于 $NaI(Tl)$ 的光产额最好可达 25% 以上,与国外报导的基本一致^[5]。测量到的吸收光谱与发射光谱的结果显示两者之间不相重叠,表明这种晶体对其本身所发出的荧光是透明的。对于高能物理实验所需要的长晶体,原则上将不存在光沿长度衰减的问题。直接用示波器观察光电倍增管阳极输出的脉冲波形,定性地估计这批晶体的发光衰减时间 τ 为 $20\sim 25 \mu s$ 。因此,这种晶体的主要缺点是发光衰减时间过长,不能适应强放射性或未来大亮度高能对撞机实验的要求。因此,如何改进这种晶体的时间性能将是一项有意义的研究课题。

感谢上海硅酸盐研究所廖晶莹同志帮助测量了 $ZnWO_4$ 晶体的吸收光谱和发射光谱。

参 考 文 献

- [1] K. Takagi et al., *J. Crystal Growth*, **52**, 2(1980), 580.
- [2] B. C. Crabmalor, *IEEE Trans. NS. VNS-31 No. 1*(1984), 372.
- [3] T. Oi et al., *J. Appl. Phys. Lett.*, **36**, 4(1980), 278.
- [4] Y. C. Zhu et al., *NIM A244*(1986), 579.
- [5] Harshaw/Filtrol, *Harshaw Radiation Detector* (1984) p. 5.

A STUDY OF THE PROPERTIES OF ZINC TUNGSTATE FOR DETECTION OF PHOTONS

GU YIFAN HE JINGTANG QIAN ZHONGMIN ZHU GUOYI

(*Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing*)

XU YUHENG WAN LIDE CHEN GANG HE ZHENGSHU

(*Harbin University of Technology, Harbin*)

ABSTRACT

Results are presented on the properties of Chinese zinc tungstate crystal for detection of photons, which include absorption and emission spectrum, relative light yield to $NaI(Tl)$, energy dependence of the energy resolution, linearity of energy response and temperature dependence of the light yield.

a

3
形
有
高
面
6
平

其

实
幻

估

全

14