

# 硅酸铋 (BSO) 晶体闪烁性能研究

何景棠 朱国义 陈端保 董晓黎 李祖豪 卞建国

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

范世骥 孙仁英 林雅芳 费一汀 徐家跃

(中国科学院上海硅酸盐研究所 上海 200050)

1996-09-13 收稿

## 摘 要

报道对 BSO 晶体闪烁性能研究的若干结果. 包括晶体的激发光谱和荧光光谱、光产额、发光衰减时间和抗辐照能力等特性.

**关键词** 硅酸铋晶体, 光产额, 发光衰减时间, 辐照损伤.

## 1 引 言

目前在高能物理和核物理以及核技术(射线成像技术、核医学、核安全检测)中广泛应用 NaI(Tl)和 BGO 晶体,它们各有优缺点:NaI(Tl)晶体的优点是光产额高,主要的缺点是容易潮解. 使用 NaI(Tl)晶体时,需要严格的封装,因此难以大规模使用. 例如近来用于高能物理的大型探测装置和大型的用于核医学成像技术的装置均不使用 NaI(Tl)晶体. 目前上述两类装置或者使用 BGO 晶体,或者使用 CsI(Tl)晶体. BGO 晶体的优点是密度高,辐射长度短,莫里埃半径小,不潮解,容易作机械加工,荧光光谱与普通光电倍增管和硅光电二极管匹配. 但由于锗酸铋中的锗是贵重的半导体原料,价格昂贵,而与锗同属一族的硅是便宜的材料,因此人们希望用硅去替代锗,制成价格便宜的硅酸铋晶体,用以代替 BGO 晶体.

表1 若干晶体的基本特性

晶体	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	辐射长度 (cm)	莫里埃半径 (cm)	光产额 (%NaI(Tl))	衰减时间 (ns)	发射谱峰位 (nm)	折射率
NaI(Tl)	3.67	2.59	4.80	100	230	410	1.85
CsI(Tl)	4.51	1.85	3.50	50—80	900	560	1.80
BGO	7.13	1.12	2.33	10—15	300	480	2.15
PbWO <sub>4</sub>	8.28	0.87	2.19	0.5—1	2/10/30	480	2.16
BSO	6.80	1.15		2—5	2/30/100	480	2.06

BSO 晶体能否代替 BGO 晶体, 有大量研究工作要做. 日本的晶体研究单位和上海硅酸盐研究所已经生长出 10—20cm 长的 BSO 晶体. 我们正在研究由上海硅酸盐研究所提供的 BSO 晶体的性能. 本文报道的工作在国内尚属首次.

作为比较, 表 1 列出 NaI(Tl)、BGO、CsI(Tl)、PbWO<sub>4</sub>、BSO 等晶体的主要特性.

## 2 BSO 晶体生长和样品加工

Bi<sub>4</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>(BSO) 是 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> 二元系中的一个稳定化学晶体, 属立方晶系. 一致熔融, 熔点为 1030℃, 故可以采用坩锅下降法(BR)或提拉法(Cz)从 BSO 熔体中生长单晶, 本文所测试的 BSO 单晶采用坩锅下降法生长. 原料 SiO<sub>2</sub> 和 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 纯度分别为 4N 和 5N, 按化学剂量比 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:SiO<sub>2</sub> = 2:3 称量 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 SiO<sub>2</sub>, 在石英研钵中充分研磨混合后, 装入下部带有 BSO 晶种的坩锅中, 铂坩锅接近密封以防熔体高温挥发. 将装好的铂坩锅放入 BR 单晶炉中, 炉温升到 1100℃ 以上, 加热熔化原料和晶种顶部. 然后按一定速度下降坩锅, 使 BSO 熔体向低温区移动, BSO 熔体即沿晶种的结晶学方向转变成单晶体. 和其它闪烁晶体一样, BSO 的性能对晶体中的杂质极为敏感. 为对比晶体纯度的影响, 除了采用从原始组分配料一次生长外, 还使用 BSO 小晶体块作为原料进行二次生长(即二次提纯). 由于 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 与 SiO<sub>2</sub> 的熔点和密度相差很大及 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> 二元系的相关系复杂, 使 BSO 熔体的化学组成均匀性和析晶行为变得比 BGO 更难控制, 并且 BSO 的生长速度也比 BGO 慢. 在上述实验条件下, 无色透明的 BSO 晶体的生长速度小于 0.5mm/h.

生长后的 BSO 晶体按常规晶体冷加工工序(切、磨、抛光)加工成一定尺寸的 BSO 样品, 供测试用. BSO 晶体的抛光表面未再进行其它处理. 本文所用的 BSO 晶体样品由上海硅酸盐研究所提供, 共三块样品, 它们的尺寸为:

$$\text{BSO(1)} \quad 9.2 \times 10.5 \times 69.5\text{mm}^3;$$

$$\text{BSO(2)} \quad 13 \times 16 \times 105\text{mm}^3;$$

$$\text{BSO(3)} \quad 16.5 \times 15.5 \times 82\text{mm}^3.$$

样品 BSO(1) 为二次生长晶体, BSO(2) 和 (3) 为一次生长晶体.

## 3 BSO 晶体的性能研究

### 3.1 激发光谱和荧光光谱

图 1 为 BSO 晶体的激发光谱和荧光光谱的二维图. 纵坐标为激发光谱, 横坐标为荧光光谱, 可以看到激发光谱的峰为 278nm, 而荧光光谱的峰在 478nm 处. BSO 的激发光谱和荧光光谱与 BGO 的相似<sup>[1]</sup>.

### 3.2 相对光产额

相对光产额的测量装置如图 2 所示. 使用精密脉冲产生器产生幅度恒定的脉冲触发发光二极管 LED 产生光信号, 用光纤将光信号送到光电倍增管光阴极上对光电倍增管的放大倍数进行定标, 同时用 BGO 晶体对测量系统作长期稳定性定标. 实验结果表明, 长

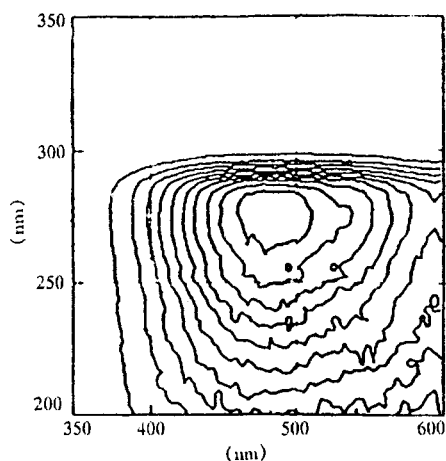
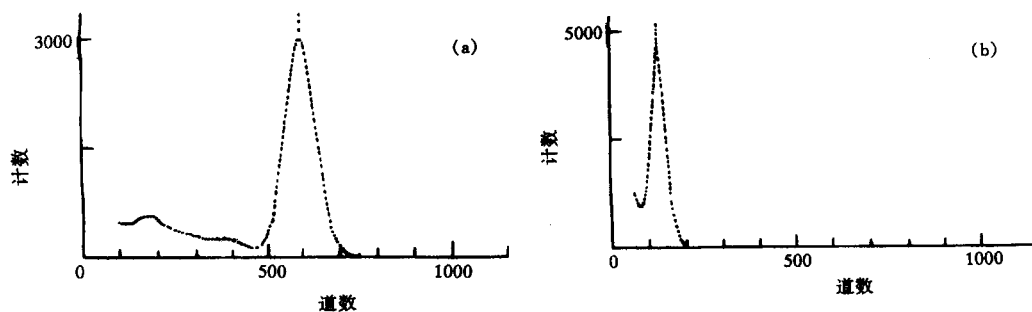


图1 BSO的激发光谱和荧光光谱二维图

与光电倍增管作光学耦合。所用的光电倍增管为国产GDB-44F。图3(a)为BGO对于 $^{137}\text{Cs}$ 的0.662 MeV  $\gamma$ 射线的响应谱。光电峰位在596道,图3(b)为BSO对于 $^{137}\text{Cs}$ 的0.662 MeV  $\gamma$ 射线的响应。  $\Delta E/E \approx 31\%$ , 峰位为127道。从而算出BSO相对于BGO的相对光产额为:

$$I(\text{BSO}) / I(\text{BGO}) = 127 / 596 = 21.3\%.$$

图3(a) BGO晶体对 $^{137}\text{Cs}$  0.662 MeV  $\gamma$ 射线的响应谱(b) BSO晶体对 $^{137}\text{Cs}$  0.662 MeV  $\gamma$ 射线的响应谱

### 3.3 BSO晶体的发光衰减时间

利用单光电子技术测量了BSO晶体的发光衰减时间。利用发光衰减时间具有三个

表 2

	$\tau_1(\text{ns})$	$F_1(\%)$	$\tau_2(\text{ns})$	$F_2(\%)$	$\tau_3(\text{ns})$	$F_3(\%)$
BSO(1)	9.8	2.4	29.0	11.7	121.8	86.0
BSO(2)	3.9	1.3	31.3	9.1	124.3	89.7
BSO(3)	4.7	2.6	36.3	14.6	123.2	82.7

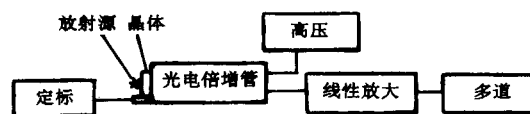


图2 相对光产额的测量装置示意图

期稳定性好于 $\pm 1\%$ 。

用同一个光电倍增管在同样条件下,分别测量了标准的 $2\text{cm} \times 2\text{cm} \times 2\text{cm}$ 的BGO晶体和BSO晶体对 $^{137}\text{Cs}$ 和 $^{22}\text{Na}$ 放射源的0.662、0.511和1.27 MeV  $\gamma$ 射线的响应,分别用对应的光电峰位求出BSO相对于BGO晶体的相对光产额。BGO晶体和BSO晶体均是六面抛光,其中五面用聚四氟乙烯薄膜包裹,另一面用硅油

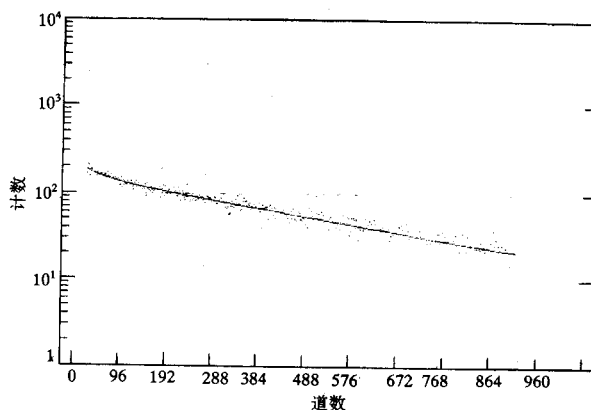


图 4 BSO晶体的典型发光衰减时间谱

组份的程序对测量结果进行数据拟合. 表 2 列出拟合得到的 BSO(1), BSO(2) 和 BSO(3) 的发光衰减时间和所占份额. 图 4 为 BSO(1) 样品的发光衰减时间谱.

### 3.4 BSO 晶体抗辐照损伤的能力

利用军事医学科学院的 10 kCi 的  $^{60}\text{Co}$  放射源对 BSO 样品进行辐照, 辐照后约半小时

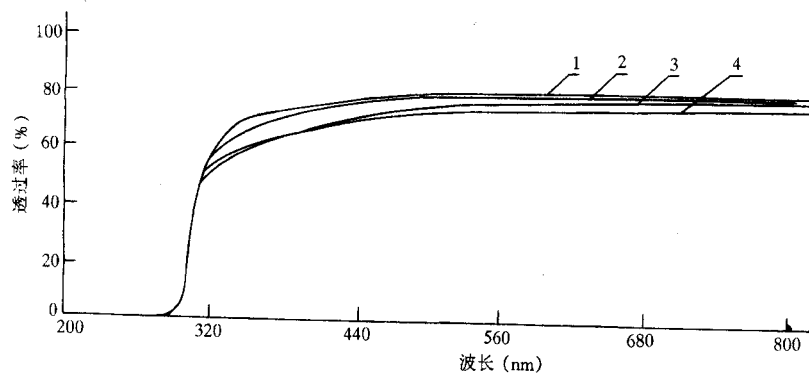


图 5 晶体吸收不同剂量后光透过率的变化

1. 辐照前; 2.  $1 \times 10^5$  rad; 3.  $1 \times 10^6$  rad; 4.  $1 \times 10^7$  rad.

进行透过率测量, 约一小时后进行光产额测量, BSO(1) 吸收  $1 \times 10^5$ 、 $1 \times 10^6$ 、 $1 \times 10^7$  rad 后透过率的变化如图 5 所示.

BSO(1) 晶体吸收不同剂量后, 光产额的相对变化如图 6 所示, 从图 6 可以看到, BSO 晶体吸收  $1 \times 10^5$  的剂量后, 辐照损伤似乎达到饱和, 光产额的相对变化只减少了 5%, 以后即使吸收  $1 \times 10^7$  rad 的剂量后, 光产额也没有多大的变化. 这说明 BSO 的抗辐照损伤

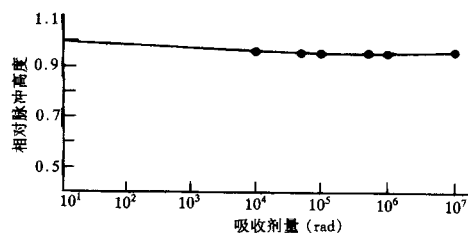


图 6 晶体吸收不同剂量后光产额的相对变化

能力优于 BGO 晶体<sup>[2]</sup>。一次生长的 BSO(2)和 BSO(3)晶体的抗辐照能力不如 BSO(1)晶体样品,说明杂质对 BSO 晶体的抗辐照能力有影响。我们计划在这方面作进一步的研究。

## 4 结 论

BSO 晶体是一种新晶体,就目前质量而言,它的相对光产额已达到 BGO 晶体的 20%左右,它的抗辐照损伤能力优于 BGO 晶体,如果能提高 BSO 晶体的光产额,BSO 晶体有可能替代 BGO 晶体而被广泛应用。

## 参 考 文 献

- [1] 何景棠等, 高能物理与核物理, 10(1986)1.
- [2] 何景棠等, 高能物理与核物理, 14(1990)8.

## Studies on the Properties of BSO Crystals

He Jingtang    Zhu Guoyi    Chen Duanbao    Dong Xiaoli  
Li Zuhao    Bian Jianguo

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

Fan Shiji    Sun Renying    Lin Yafang    Fei Yiting    Xu Jiayue

*(Shanghai Institute of Ceramics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050)*

Received 13 September 1996

### Abstract

Some results of the studies on the properties of BSO crystals are reported, including excitation spectrum and fluorescent spectrum, light yield, decay time and radiation hardness.

**Key words** BSO crystal, light yield, decay time, radiation damage.