

## $\phi 76\text{mm} \times 100\text{mm}$ BGO 探测器性能研究\*

叶沿林 刘昕 江栋兴 卢希庭

刘洪涛 林俊松 周长春

(北京大学技术物理系, 100871)

### 摘 要

根据中能重离子核反应实验中测量较高能量 $\gamma$ 光子的需要, 利用国内条件试制了一台大圆柱体 BGO 探测器。本文报道了晶体的包装与相对光输出以及探测器的能量与时间分辨性能, 比较了不同光电倍增管对探测器性能的影响, 分析了在有关实验中采用这种探测器的可行性。

从中能重离子核反应中放射出来的高能 $\gamma$ 射线携带了有关反应机制与热核性质的重要信息<sup>[1]</sup>。从能谱来看, 这类 $\gamma$ 射线主要包括两个部分。一部分能量高于 30MeV, 它们主要来自于反应初期的核子-核子碰撞, 其截面随 $\gamma$ 射线能量呈指数衰减, 一直延续到近 100MeV。由于能谱是连续的, 这部分 $\gamma$ 射线对探测器的能量分辨率没有特殊要求。另一部分 $\gamma$ 射线来自于巨共振的衰变, 其能量在 10—20MeV 区域, 共振峰宽度一般在 5MeV 以上, 因此在大于 10MeV 能区要求探测器的能量分辨率优于约 30%。在低于 30MeV 的 $\gamma$ 能谱上, 还迭加着另一指数衰减成份, 主要来自于激发核的统计衰变。这一成份不反映中能重离子核反应的特征, 通常按本底去掉。由此可见, 对中能重离子核反应产生的高能 $\gamma$ 射线( $E_\gamma \geq 10\text{MeV}$ )的研究, 并不需要使用能量分辨率很高的探测器。但由于高能 $\gamma$ 射线产额较低, 要求有尽可能高的探测效率。而且实验中通常要将 $\gamma$ 探测器与其他探测器同时安放在紧凑的空间中, 这就要求探测器体积不宜过大并便于移动和安装。另外, 由于要利用飞行时间作中子- $\gamma$ 甄别以去除本底, 要求探测器有尽可能好的时间分辨本领。采用单个大块 BGO 晶体制成的探测器, 能较好地满足以上要求<sup>[2]</sup>。BGO 晶体的突出优点在于其对 $\gamma$ 射线有很高的探测效率和阻止本领。使用较大体积的 BGO 时, 从表面泄漏的能量较少, 可在不使用反符合装置的情况下得到简单从而便于解谱时使用的响应函数。大体积 BGO 的主要缺点在于能量分辨率较差, 但对研究高能 $\gamma$ 射线影响不大。

我们准备在兰州近代物理研究所新建成的大型重离子加速器上开展高能 $\gamma$ 射线的研究, 为此计划利用国产晶体逐步建立一套大圆柱体 BGO 高能 $\gamma$ 射线探测器。近年来, 国外已有不少研究和直径在 76mm 以上的 BGO 晶体的报道<sup>[3]</sup>, 晶体质量比早期的已有明显提高<sup>[4]</sup>。对国产 BGO 的性能虽已有许多研究, 但主要是针对较小体积的晶体<sup>[5]</sup>

本文 1991 年 5 月 27 日收到。

\* 国家自然科学基金和国家教委优秀年轻教师基金资助。

或专用的长条形晶体<sup>[6]</sup>。本文介绍  $\phi 76 \times 100$  国产 BGO 探测器的试制情况。

BGO 晶体由上海硅酸盐研究所提供。晶体表面全部抛光,直观品质良好。晶体的包装直接影响光输出,常见的是用 MgO 粉作反射层<sup>[3]</sup>,但也有用白纸和镀铝涤纶的<sup>[7]</sup>。近年有人用多层聚四氟乙烯膜取代 MgO 作反射层,在小体积晶体上取得了令人满意的效果<sup>[8]</sup>。我们在  $\phi 76 \times 100$ BGO 上(除与光电倍增管耦合面外)分别试用镀铝涤纶,白纸外裹镀铝涤纶, MgO 粉以及多层聚四氟乙烯膜作反射层,在其他条件固定的情况下测量探测器的脉冲幅度作为相对光输出的表征,结果列于表 1 中。实验显示,后两种包装有利于光输出。而采用聚四氟乙烯膜又显然比用 MgO 粉简便得多。因此我们采用了多层聚四氟乙烯膜外裹镀铝涤纶包装。

表 1 不同包装对光输出的影响

包装情况	相对光输出(%)
镀铝涤纶	84.9
白纸外裹镀铝涤纶	85.2
MgO 粉	97.0
多层聚四氟乙烯膜	100.0

由于探测器在测能谱的同时,需要利用飞行时间作中子- $\gamma$  甄别,这就要求兼顾能量与时间信号的性能。通过测试比较并参考国外的报道,选用直径 81mm 的能量型光电倍增管(慢管),同时在分压电阻的设计与高压值的选取上尽量兼顾时间信号的质量。目前采用的是北京核仪器厂生产的 GDB76F 型光电倍增管,加负高压,从阳极经  $50\Omega$  阻抗直接输出时间信号,从倒数第二个打拿极引出能量信号经阻抗与时间常数匹配后送到主放大器。

在  $^{137}\text{Cs}$  源照射下,探测器的能量信号经线性放大后送入多道分析器作相对光电子产额与能量分辨率测量。首先装上  $\phi 40 \times 40\text{NaI(Tl)}$  晶体,并用在光阴极前加光栏的办法测量了光阴极上不同位置的光电转换效率,发现相对变化可达  $\pm 14\%$ ,中心位置处大致为各部分效率的平均值。去掉光栏后用甲基硅油粘合晶体与光电倍增管,分别测量了三块晶体对 0.662MeV  $\gamma$  射线的相对光电子产额与能量分辨率,结果列于表 2 中。从表中看到,  $\phi 76 \times 100\text{BGO}$  相对于  $\phi 40 \times 40\text{BGO}$  光输出降低了约 64%,这表明闪烁光在反射与传播过程中的损失还是比较大的。这种体积效应在其他有关 BGO 的报道中也能明显看出<sup>[3,5]</sup>。关于能量分辨率,对 NaI(Tl) 测得的结果与厂家对光电倍增管的标定一致。但对  $\phi 40 \times 40\text{BGO}$ , 测量结果 (16.9%)比文献 [9] 报道的要差。测量这块晶体在几支  $\phi 52\text{mm}$  慢管 (GDB44D) 上的能量分辨率,发现较好的结果约为 13.0%,较差的结果达 17.0% (尽管这些管子在装上 NaI 时给出的分辨率基本相同)。可见如果采用更好的光

表 2 不同晶体与 GDB76F 光电倍增管组合的相对光电子产额与能量分辨率(对  $^{137}\text{Cs}$ )

闪烁晶体	相对光电子产额(%)	$\frac{\text{FWHM}}{\text{峰位}}$ (%)
$\phi 40 \times 40\text{NaI(Tl)}$	100.0	8.7
$\phi 40 \times 40\text{BGO}$	11.5	16.9
$\phi 76 \times 100\text{BGO}$	4.2	29.2

电倍增管,进一步降低  $\phi 76 \times 100\text{BGO}$  探测器的能量分辨率是有可能的。

我们也试测了  $\phi 76 \times 100\text{BGO}$  探头对较高能量  $\gamma$  射线的响应。实验在北大技物系的  $2 \times 1.7\text{MV}$  串联静电加速器上进行,采用  $(p, \gamma)$  低能共振核反应。对  $^{11}\text{B}$  靶取  $675\text{keV}$  和  $1390\text{keV}$  的共振能量,可得到  $4.43$ 、 $12.15$  和  $17.23\text{MeV}$  的  $\gamma$  光子。对  $^{19}\text{F}$  靶取  $340\text{keV}$  的共振能量,可得到  $6.13\text{MeV}$  的  $\gamma$  光子。图 1 显示了  $675\text{keV}$  左右的质子在  $^{11}\text{B}$  上发生共振反应时测得的  $\gamma$  射线能谱,其他反应得到的能谱与此形状相似。采用全能峰与单、双逃逸峰(均采用高斯形)加上幂函数本底拟合的方法<sup>[4]</sup>,可以推出全能峰能量分辨率,结果(包括对  $^{137}\text{Cs}$  源的测量)显示在图 2 中。图中实线为用最小二乘法拟合定出的  $E^{-1/2}$  关系:

$$\Delta E(\text{FWHM})/E = 21.2/\sqrt{E(\text{MeV})} + 5.1(\%)$$

不过我们最关心的是对大于  $10\text{MeV}$   $\gamma$  射线的整个响应峰宽度,它决定了探测器在不带反符合装置情况下的能量分辨本领。采用单高斯函数加幂函数本底拟合的方法,得到探测器对  $12.15$  和  $17.23\text{MeV}$   $\gamma$  射线的响应峰宽度(FWHM)近似为  $15.2\%$  和  $15.0\%$ ,这可以满足探测中能重离子核反应产生的高能  $\gamma$  射线的需要。

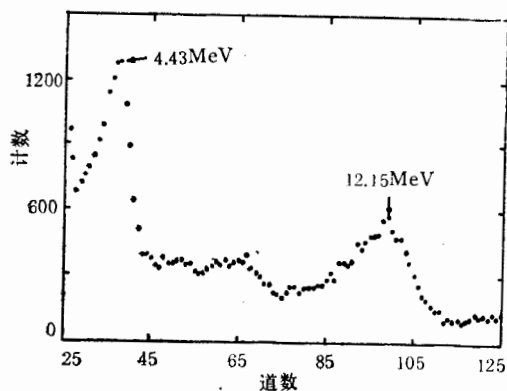


图 1  $^{11}\text{B}(p, \gamma)$  反应的  $4.43$  和  $12.15\text{MeV}$   $\gamma$  射线能谱

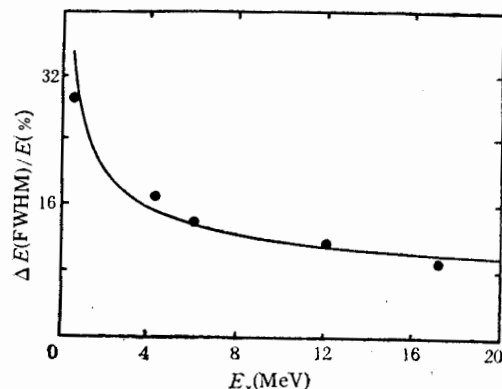


图 2 全能峰分辨率与能量的关系

表 3 时间分辨测量结果 ( $^{60}\text{Co}$  源, 能窗  $\geq 1\text{MeV}$ )

闪烁体	光电倍增管		FWHM (ns)
	型号	标称脉冲上升时间(ns)	
$\phi 30 \times 20\text{ST401}$ 塑闪	GDB50L	1.9	0.31
$\phi 40 \times 40\text{NaI(Tl)}$	GDB50L	1.9	0.84
$\phi 40 \times 40\text{BGO}$	GDB50L	1.9	1.9
$\phi 40 \times 40\text{NaI(Tl)}$	GDB44D	13	1.5
$\phi 40 \times 40\text{BGO}$	GDB44D	13	3.4
$\phi 76 \times 100\text{BGO}$	GDB76F	13	6.3

注: 起始道探测器均为  $\phi 40 \times 40\text{ST401}$  塑料闪烁体与 GDB50L 光电倍增管的组合。

利用通常的快慢符合装置<sup>[3]</sup>,测量了探测器的时间分辨本领(对  $^{60}\text{Co}$  源)。表 3 中同时列出了不同晶体与光电倍增管组合测得的结果以便比较,图 3 显示了  $\phi 76 \times 100\text{BGO}$  与 GDB76F 组合时测得的时间分辨曲线。在对 BGO 的测量中,注意了调整电子学参

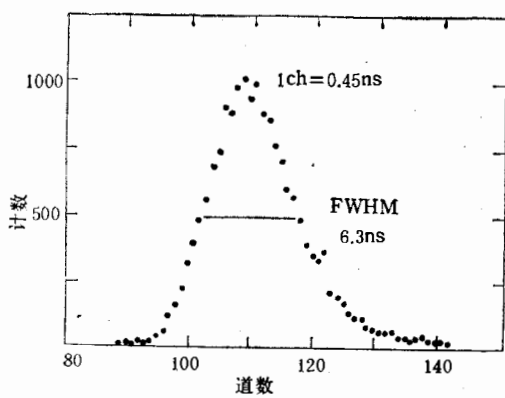


图3  $\phi 76 \times 100$  BGO 探测器的时间分辨曲线

对探测器时间分辨的影响<sup>[10]</sup>,结果表明若采用时间型快光电倍增管, $\phi 76 \times 100$  BGO探测器的时间分辨(对 $^{60}\text{Co}$ )可降到约 2.5ns,这基本上达到了晶体本身所允许的分辨极限。

测试表明,采用  $\phi 76 \times 100$  BGO 与能量型光电倍增管组合,在能量分辨与时间分辨两方面能基本上满足测量中能重离子核反应中产生的高能  $\gamma$  射线的需要。考虑到大体积 BGO 具有探测效率高,响应函数简单,易于退卷积处理等特点,这种探测器在对能量分辨要求不高的实验中有着较好的应用前景。

作者感谢上海硅酸盐所范世骏、沈关顺等同志在提供 BGO 晶体方面给予的支持。

### 参 考 文 献

- [1] H. Nifenecker et al. and N. Alamanos et al., at the Second IN2P3-RIKEN Symp. On Heavy-Ion Collisions, Obernai, France, 1990, Ed. B. Heusch and M. Ishihara.
- [2] K. Hanold et al., *Phys. Rev.*, **C38**(1988),163.
- [3] C.E. Moss et al., *Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Res.*, **221** (1984), 378. P. Corvisiero et al., *Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Res.*, **A294**(1990),478.
- [4] F. Buskirk et al., *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **NS-29**(1982), 346.
- [5] 张天保等,高能物理与核物理,**7**(1983),674.
- [6] 朱国义等,高能物理与核物理,**14**(1990),200.
- [7] 王侏仔等,高能物理与核物理,**10**(1986),1.
- [8] I. Holl et al., *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **NS-35**,No.1(1988),105.
- [9] Albert E. Evans, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **NS-27**, No. 1(1980),172.
- [10] 叶沿林,周长春,林俊松,核电子学与探测技术,用蒙特卡罗方法研究 BGO 探测器时间性能,待发表。

## Performance of A 76-By 100-mm BGO Detector

YE YANLIN LIU XIN JIANG DONGXING LU XITING

LIU HONGTAO LIN JUNSONG ZHOU CHANGCIUN

(Department of Technical Physics, Peking University, 100871)

### ABSTRACT

In order to meet the needs of measuring high energy  $\gamma$ -rays produced in heavy ion reactions at intermediate energies, a large cylindrical BGO detector has been assembled by using China-made crystal and photomultiplier tube. This report presents the light collection method and the relative light yield of the crystal, and the energy and time resolution of the detector. A comparison was made about using different kinds of photomultiplier tubes. The possibility of applying detectors of this kind to heavy ion experiments has been discussed.