

## 双维位置灵敏 CsI(Tl) 探测器<sup>\*</sup>

李琛<sup>1,2;1)</sup> 詹文龙<sup>1</sup> 肖国青<sup>1</sup> 郭忠言<sup>1</sup> 孙志宇<sup>1</sup> 李加兴<sup>1</sup> 陈志强<sup>1,2</sup>  
王猛<sup>1</sup> 王武生<sup>1</sup> 毛瑞士<sup>1,2</sup> 陈立新<sup>1</sup> 白洁<sup>1</sup> 胡正国<sup>1,2</sup>

1(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

2(中国科学院研究生院 北京 100049)

**摘要** 描述了一种双维位置灵敏 CsI(Tl)探测器.用3组分 $\alpha$ 源测量该探测器得到的位置分辨为0.81mm(FWHM),对于69MeV/u<sup>36</sup>Ar能量分辨为0.9%(FWHM).在RIBLL的 $\Delta E$ - $E$ 粒子鉴别望远镜中常常作为 $E$ 探测器.由于CsI(Tl)晶体对不同的粒子的能损-光输出的非线性,需要针对不同离子对CsI探测器作能量-光输出校正曲线.

**关键词** CsI(Tl)探测器 飞行时间  $\Delta E$ - $E$ 望远镜 粒子鉴别

### 1 引言

自1997年兰州重离子加速器放射性次级束流线<sup>[1,2]</sup>(RIBLL)投入运行以来,利用兰州重离子加速器(HIRFL)提供的中能重离子初级束流,RIBLL为国内外许多实验组提供了多种中能重离子放射性束流(RIB),开展了许多放射性束物理实验<sup>[1]</sup>.在该装置中安装了许多种探测器<sup>[3]</sup>,如飞行时间(TOF)探测器<sup>[4]</sup>、平行板雪崩(PPAC)探测器<sup>[5]</sup>和各种Si探测器望远镜<sup>[6]</sup>等.通过飞行时间探测器测到的离子飞行时间结合离子的能损 $\Delta E$ 可以得到 $\Delta E$ -TOF谱,进而结合离子磁刚度等参量可以鉴别次级束中的各种离子.通过使用 $\Delta E$ - $E$ 多层望远镜系统,我们可以测量所产生的各种奇异核的反应总截面<sup>[7-10]</sup>.

在RIBLL上使用的 $\Delta E$ - $E$ 多层望远镜系统是由多个不同厚度的全耗尽金硅面垒半导体探测器和CsI(Tl)阻止型探测器组成.所用的CsI(Tl)探测器放在RIBLL的最后聚焦点上,有着很好的空间位置分辨,可以测出束斑的尺寸、位置和密度分布.同时,由于该探测器有4路输出,将4路输出的信号相加即可得到CsI探测器的能量信号 $E$ .利用原理 $\Delta E \times E \propto MZ^2$ 可以

鉴别反应产生的粒子,进而得到反应总截面.

CsI(Tl)晶体由于其良好的光输出特性,在许多探测器中被大量使用.CsI(Tl)与光电倍增管(PMT)或光二极管配合制成的探测器可用于粒子能量的测量、粒子的鉴别和粒子位置的测量.由于CsI(Tl)晶体的光输出除了与CsI本身的属性有关<sup>9,10]</sup>,与入射粒子的类型能量等也有关系.因而入射粒子在CsI(Tl)探测器的能损与相应的光输出是非线性关系<sup>[11,12]</sup>,需要针对不同的粒子对CsI(Tl)探测器作能量的校正曲线.

RIBLL上使用的CsI(Tl)位置灵敏探测器,由双维位置灵敏光电倍增管读出,从其4个输出信号,根据电荷分除法推出粒子的入射位置.同时,也可以用该探测器测量粒子的能量.本文也报道了一种利用 $\Delta E$ - $E$ 刻度CsI(Tl)探测器的方法.

### 2 CsI(Tl)探测器的结构

图1为CsI(Tl)探测器的结构示意图.该探测器是由一块厚10mm,面积为70mm $\times$ 70mm的CsI(Tl)晶体和Hamamatsu公司的位置灵敏光电倍增

2004-07-07 收稿

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金(10205019,10105011)国家基础研究发展规划项目(G2000077401,G2000077404),国家基金委创新研究群体科学基金(10221003)资助

1) E-mail: lichen@impcas.ac.cn

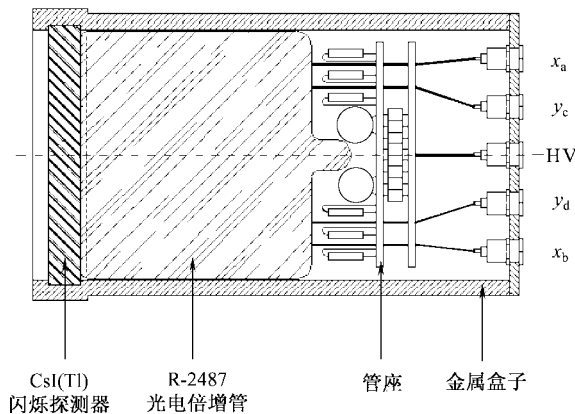


图1 位置灵敏 CsI(Tl)的结构示意图

管 R2487-02 组成. 晶体的表面做过很好的抛光处理, 前表面和侧面用  $7\mu\text{m}$  的铝箔包裹, 以提高光的收集效率, 并可屏蔽外界光的干扰. 后表面与 R2487 直接耦合. 光电倍增管与晶体一起被封装在一个合金铝制的盒子里, 盒子的窗为  $65\text{mm} \times 60\text{mm}$ . CsI(Tl) 晶体的密度为  $4.51\text{g}/\text{cm}^3$ , 发射波长为  $400\text{--}650\text{nm}$ , 最大发射波长为  $550\text{nm}$ . 所用的光电倍增管 R2487 光阴极的有效面积为  $55\text{mm}(x) \times 55\text{mm}(y)$ , 光响应波长为  $300\text{--}600\text{nm}$ , 最大值位于波长为  $420\text{nm}$ . 两者可以很好地配合.

### 3 探测器的性能及使用

#### 3.1 CsI(Tl)探测器的位置分辨和能量分辨

R2487-02 型光电倍增管的阳极是由 18 个  $x$  位置丝和 17 个  $y$  位置丝构成. 它们分别由  $x, y$  电阻串连接, 2 电阻串的两端输出 4 个信号:  $x_a, x_b, y_c, y_d$ . 从 4 路信号  $x_a, x_b, y_c, y_d$  通过电荷分除法推出  $x, y$  位置信息. 入射离子的位置  $x, y$  和沉积能量  $E$  关系如下公式

$$x = \frac{x_a - x_b}{x_a + x_b}, y = \frac{y_c - y_d}{y_c + y_d}, \quad (1)$$

$$E = x_a + x_b + y_c + y_d. \quad (2)$$

4 路输出信号经过电荷灵敏前置放大器(Q-PA)放大, 然后分成 2 路. 1 路进入主放大(A), 放大、成形, 送入 CAMAC. 另一路经甄别器(CF8000)甄别成形, 延迟, 进入符合单元 CO4010. 将 4 路逻辑信号符合输出作为 Trig 信号.

测试探测器位置分辨时, 3 组分  $\alpha$  源放置在探

测器前方  $50\text{cm}$  处, CsI(Tl) 晶体前加栅网状准直器, 栅网状准直器的网孔直径为  $1.0\text{mm}$ , 相邻网孔的间距为  $5\text{mm}$ .  $\alpha$  粒子通过栅网进入探测器, RIBLL 数据获取系统记录每一个入射粒子的  $x_a, x_b, y_c, y_d$ , 根据上面的公式可得到  $x$  和  $y$  方向的二维谱和投影位置谱. 由此, 我们得到该探测器的位置分辨在  $x$  方向和  $y$  方向均为  $0.81\text{mm}$ (FWHM).

从上述公式计算粒子入射位置之前, 必须将 4 路输出的电子学参数精心调整, 保证 4 路信号的放大倍数相同. 从而, 我们可以将 4 路信号直接相加得到粒子的能量. 如果实际条件限制, 硬件上无法将各路放大倍数调成相同, 就需要刻度 4 路的变换斜率和截距, 然后进行归一, 再推出粒子的位置和能量. 图 2 为该 CsI(Tl) 探测器测得的  $69\text{MeV}/u$  的  $^{36}\text{Ar}$  能谱, 由此推算该 CsI 探测器的能量分辨约为  $0.9\%$ .

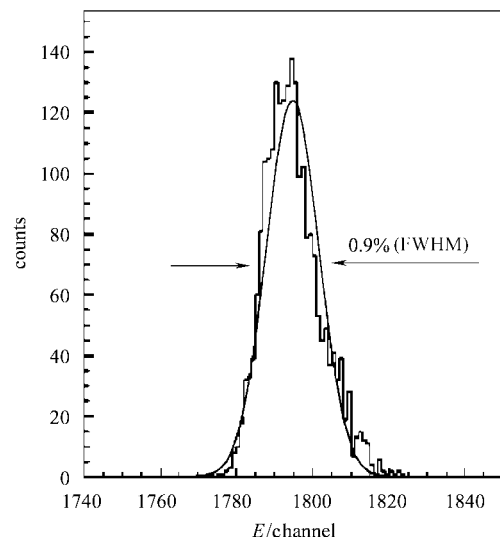


图2 CsI(Tl)探测器测得的  $69\text{MeV}/u$  的  $^{36}\text{Ar}$  的能谱

#### 3.2 CsI(Tl)探测器的能量刻度

在 RIBLL 的束流诊断和 RIB 物理实验研究中, 多叠层  $\Delta E\text{-}E$  粒子鉴别望远镜是最常用的传统探测器望远镜. 通常, 望远镜的前几片是不同厚度全耗尽 Si 半导体探测器, 然后是面积较大的全耗尽光二极管探测器, 如  $48\text{mm} \times 48\text{mm}$  Hamamatsu SPD, 最后是 CsI(Tl) 探测器. 在这里, CsI(Tl) 探测器测量粒子的剩余能量  $E_R$ . 众所周知, CsI(Tl) 闪烁探测器和所有闪烁探测器一样, 对各种离子, 射程与能量损失关系是非线性的. 在处理试验数据时需要针对不同的离子对 CsI 探测器作能量刻度. 一般地, 对 CsI 探测

器的刻度通常有 3 种方法:<sup>[2,3]</sup>

1)  $\Delta E(\text{Si})-E(\text{CsI})$  方法, 即对于确定类型的粒子, 由该粒子在望远镜的全耗尽 Si 探测器中的能量损失  $\Delta E$  和已知的 Si 探测器厚度, 推算出粒子的总能量和在 CsI(Tl) 晶体中的剩余能量, 从而刻度 CsI 探测器.

2) 飞行时间 (TOF) 测量法, 精确测量各种粒子进入 CsI(Tl) 之前, 在确定路程上的 TOF, 推出粒子能量.

3) 使用加速器提供的各种能量的各种初级离子束刻度 CsI(Tl) 探测器.

对于在 RIBLL 上使用的  $\Delta E-E$  多层望远镜, 我们采用第一种方法刻度 CsI(Tl) 探测器的能量响应.

首先, 对 CsI(Tl) 探测器前的 Si 探测器做能量刻度. 同时, 调整 CsI(Tl) 探测器的 4 路电子学, 使 4 路信号输出的放大倍数相同, 这样才可以将 4 路信号相加, 得到正确的能量信号. 通过 RIBLL 磁刚度设定, 可以准确确定初级入射束流的能量. 测量 RIB 在 RIBLL 的  $T_1-T_2$  的 TOF 以及能量损失 ( $\Delta E$ ), 可以准确鉴别粒子类型和粒子能量. 进一步, 从已知厚度 Si 探测器上的  $\Delta E$ , 可以推算出粒子在 CsI 中的剩余能量, 在能谱  $\Delta E$  上设置不同能量窗, 进而得到不同的剩余能量. 由于不同类型的粒子在 CsI(Tl) 中能损曲线是不同的, 需要对每种粒子分别刻度. 最后, 对探测到的所有粒子, 都可绘制出粒子能量-光输出的响应曲线.

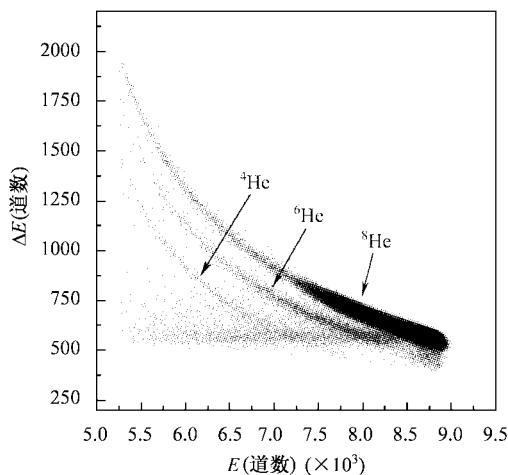


图 3 RIBLL 从  $60\text{MeV/u } ^{13}\text{C} + \text{Be}(4\text{mm})$  分离出的  $^8\text{He}$ ,  $^6\text{He}$  和  $^4\text{He}$  等粒子的  $\Delta E-E_R$  双维散布图

作为例子, 图 3 给出了用  $60\text{MeV/u}$  的  $^{13}\text{C}$  初级

束流轰击厚度  $4\text{mm}$  的初级 Be 靶, 得到次级放射性束流  $^8\text{He}$ , 利用  $^8\text{He}$  轰击  $T_2$  的 Si 靶, 用该望远镜测得的  $^8\text{He}$ ,  $^6\text{He}$ ,  $^4\text{He}$  等 He 粒子双维散布图. 图中  $y$  轴表示 CsI(Tl) 晶体前 Si 全耗尽探测器测量的  $\Delta E$ ,  $x$  轴表示粒子在 CsI(Tl) 晶体中沉积的剩余能量. 从磁刚度  $B\rho$  或 TOF 测量推出  $^8\text{He}$  的总能量为  $290.146\text{MeV}$ . 由于准确知道叠层望远镜中 CsI(Tl) 之前的 Si 探测器厚度, 因而, 对于每个人射 CsI(Tl) 晶体中的粒子, 可以推出它在前置 Si 探测器中损失的能量总和, 由此推出粒子在 CsI(Tl) 晶体中沉积的能量. 最后得到粒子在 CsI(Tl) 晶体中沉积的能量与光输出的响应曲线.

图 4 示出  $^8\text{He}$ ,  $^6\text{He}$ ,  $^{11}\text{Li}$ ,  $^8\text{Li}$  和  $^7\text{Li}$  等粒子在 CsI(Tl) 上的能损与光输出的关系曲线. 由图可见, 各种粒子在 CsI(Tl) 晶体中的能量损失与光输出是非线性关系. 而且这种非线性的响应是粒子依赖的, 不同粒子线性关系曲线也不相同.

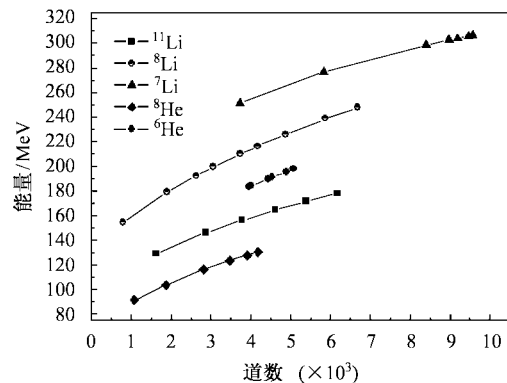


图 4  $^8\text{He}$ ,  $^6\text{He}$ ,  $^{11}\text{Li}$ ,  $^8\text{Li}$  和  $^7\text{Li}$  等粒子在 CsI(Tl) 上的能损与光输出的响应曲线

## 4 结果与讨论

兰州重离子加速器放射性束流线 (RIBLL) 使用 CsI(Tl) 闪烁晶体和 Si 探测器组成  $\Delta E-E$  多叠层粒子鉴别望远镜系统, 用于测量离子的反应总截面等实验, 得到了很好的结果. CsI(Tl) 闪烁晶体由双维位置灵敏光电倍增管读出, 采用电荷除法提取入射粒子的  $x, y$  位置. 该探测器对 3 组分  $\alpha$  粒子测得位置分辨为  $0.81\text{mm}$  (FWHM). 对于  $69\text{MeV/u } ^{36}\text{Ar}$  粒子能量分辨为  $0.9\%$ . 该探测器望远镜在 RIBLL 束流诊断和 RIB 引起反应总结面测量中得到广泛应

用,取得了很好的实验结果.

与所有闪烁探测器一样,由于粒子在 CsI(Tl)晶体中的能量损失与光输出之间的非线性响应,对 CsI(Tl)探测器必须做能量校正计算.在 RIBLL 上,初级束流能量,次级放射性束流的种类和能量都可以由磁刚度和飞行时间精确确定.因此, CsI(Tl)晶体的能量-光输出响应曲线,通常都从前置的准确知

道厚度的 Si 探测器推出,实现能量校正.实践证明,这是一种快捷、简易、低成本的方法.

另外,该探测器有较大的有效面积(约 60mm × 55mm)和较强的抗辐射能力,且只有 4 路信号输出,电子学相对简单.

但是, CsI(Tl)晶体时间响应较慢,不宜在高于  $10^4$  particles/s 计数率下使用.

## 参考文献 (References)

- ZHAN Wen-Long, GUO Zhong-Yan, LIU Guan-Hua et al. Science in China, 1999, **29**(1):77—84(in Chinese)  
(詹文龙,郭忠言,刘冠华等.中国科学,1999, **29**(1):77—84)
- ZHAN Wen-Long, GUO Zhong-Yan et al. Science in China(Series A), 1999, **42**(5):529—536
- GUO Zhong-Yan, ZHAN Wen-Long, ZHOU Jian-Qun et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1996, **20**(6):491—497(in Chinese)  
(郭忠言,詹文龙,周建群等.高能物理与核物理,1996, **20**(6):491—497)
- LI Jia-Xing, ZHAN Wen-Long, GUO Zhong-Yan et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1999, **23**(3):231(in Chinese)  
(李加兴,詹文龙,郭忠言等.高能物理与核物理,1999, **23**(3):231)
- WANG Meng, GUO Zhong-Yan, ZHAN Wen-Long et al. Nuclear Techniques, 2003, **26**(3):245—248(in Chinese)  
(王猛,郭忠言,詹文龙等.核技术,2003, **26**(3):245—248)
- LI Jia-Xing, ZHAN Wen-Long, GUO Zhong-Yan et al. Nuclear Techniques, 2001, **24**(4):309(in Chinese)  
(李加兴,詹文龙,郭忠言等.核技术,2001, **24**(4):309)
- NING Zhen-Jiang, LI Jia-Xing, GUO Zhong-Yan et al. Chinese Physics, 2001, **50**(4):644—647(in Chinese)  
(宁振江,李加兴,郭忠言等.物理学报,2001, **50**(4):644—647)
- WANG Quan-Jin, ZHAN Wen-Long, GUO Zhong-Yan et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 2001, **25**(12):1165(in Chinese)  
(王全进,詹文龙,郭忠言等.高能物理与核物理,2001, **25**(12):1165)
- CHEN Zhi-Qiang, XIAO Guo-Qing, ZHAN Wen-Long et al. Nuclear Physica Review, 2002, **19**(4):387—389 (in Chinese)  
(陈志强,肖国青,詹文龙等.原子核物理评论,2002, **19**(4):387—389)
- WANG Quan-Jin, XIAO Guo-Qing, ZHAN Wen-Long et al. Progress in Natural Science, 2002, **12**(1):29—32(in Chinese)  
(王全进,肖国青,詹文龙等.自然科学进展,2002, **12**(1):29—32)
- Pärlog M, Borderie B, Rivet M F et al., Nucl. Instrum. Methods, 2002, **A482**:693—706
- Aiello S, Anzalone A, Cardella G et al., Nucl. Instrum. Methods, 1996, **A369**:50—54

## Two-Dimension Positional Sensitive CsI(Tl) Detector\*

LI Chen<sup>1,2;1)</sup> ZHAN Wen-Long<sup>1</sup> XIAO Guo-Qing<sup>1</sup> GUO Zhong-Yan<sup>1</sup> SUN Zhi-Yu<sup>1</sup>  
LI Jia-Xing<sup>1</sup> CHEN Zhi-Qiang<sup>1,2</sup> WANG Meng<sup>1</sup> WANG Wu-Sheng<sup>1</sup> MAO Rui-Shi<sup>1,2</sup>  
CHEN Li-Xin<sup>1</sup> BAI Jie<sup>1</sup> HU Zheng-Guo<sup>1,2</sup>

1(Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

2(Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract** The two-dimension positional sensitive CsI(Tl) detector is reported. The detector's spatial resolution is 0.81mm (FWHM) and energy resolution is 0.9% (FWHM). This detector is the part of the  $\Delta E$ - $E$  telescope which is used on RIBLL. The light output is not linear with the energy loss. We carried out the energy calibration of the CsI(Tl) detector by magnetic rigidity of ions and energy loss on Si detector which we know.

**Key words** CsI(Tl)-detector, time of flight,  $\Delta E$ - $E$  telescope, identification of particle

Received 7 July 2004

\* Supported by Natural Science Foundation of China(10205019,10105011), Major State Basic Research Development Program (G2000077401, G2000077404) and NSFC for Innovative Research Group(10221003)

1)E-mail:lichen@impcas.ac.cn