

NE102A+CsI(Tl)+PMT 中能重离子 探测器望远镜*

祁 中 郭忠言 詹文龙 周建群 刘冠华 张万生
王金川 林源根 诸永泰 徐瑚珊 谢元祥

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

1996-05-23收稿

摘 要

描述了由1mm厚面积为24mm×24mm的快塑料闪烁体NE102A和前表面24mm×24mm,后表面37mm×37mm,40mm厚的CsI(Tl)组成的phoswich探测器望远镜的结构和性能.实验结果表明,用传统的快慢门QDC方法可清楚地分辨 $Z=1$ 的同位素p、d、t和鉴别出全部探测到的碎片.

关键词 中能重离子, 叠层探测器望远镜, 粒子鉴别.

1 引 言

在中能(10—100MeV/u)重离子核反应实验中,核反应机制的研究是至关重要的课题^[1].为了弄清各种反应机制的机理,必须尽可能多地探测和鉴别反应产物,分辨它们的来源.但在这一能区,反应产物能量动态范围大,元素和同位素分布广,空间和时间演变十分复杂.为探测这些粒子,人们发展了许多不同类型探测器装置,如多叠层Si半导体望远镜^[2]、IC+Si+CsI(Tl)+PD(光二极管)混合型探测器望远镜^[3]、IC+Si+CsI(Tl)+PMT(光电倍增管)对数密度探测器望远镜^[4]、快慢塑料闪烁探测器望远镜、重离子飞行时间望远镜等.为探测几乎全部粒子,研究人员用这些单元构造了 4π 探测器装置,如GANIL的INDRA、GSI的FOPI、MSU的MINIBALL.

Si半导体探测器的能量分辨和粒子鉴别能力好,时间响应较快,但厚度 $<5\mu\text{m}$ 和厚度 $>1\text{mm}$ 的探测器制作困难、价格昂贵、面积也不能大.气体电离室能量分辨和时间响应较差,阻止本领低,但它可以很薄,而且厚度均匀可调,探测阈低,适合于探测重碎片.它的尺寸大小随意、制作容易、价格便宜.闪烁探测器时间响应快(如NE102A、NE115、BC-400、BC-418),阻止本领高(如BGO、CsI(Tl)、BaF₂),容易

* 国家自然科学基金资助.

切割成各种形状和尺寸, 可以做成大面积和大立体角, 有较高的发光效率和抗辐射性能, 并且成本低廉, 是目前中能重离子探测器望远镜中剩余能量探测器的理想选择^[5].

本文报道了一个 phoswich 探测器, 它由一片快塑料闪烁体 NE102A 薄片与 CsI(Tl) 晶体构成. NE102A 衰变时间为 $\tau_{\text{NE102A}} = 2.4\text{ns}$, 光谱波长峰 $\sim 400\text{nm}$, CsI(Tl) 有两种衰变成份, 快的为 $\tau_{\text{fast}} = 400\text{--}700\text{ns}$, 慢的是 $\tau_{\text{slow}} \approx 7\mu\text{s}$, 光谱峰值 $\sim 550\text{nm}$. 该 phoswich 用光电倍增管 R1666 读出, 用快慢门 QDC 积分方法鉴别粒子.

2 探测器结构及原理

2.1 基本结构

该探测器单元是由一片快塑料闪烁探测器 NE102A (厚 1mm, 面积为 $24\text{mm} \times 24\text{mm}$)、一块 CsI(Tl) 闪烁体 (前表面为 $24\text{mm} \times 24\text{mm}$, 后表面为 $37\text{mm} \times 37\text{mm}$, 厚度为 40mm)、光导和 Hamamatsu R1666 光电倍增管 (PMT) 构成, 其基本结构如图 1 所示.

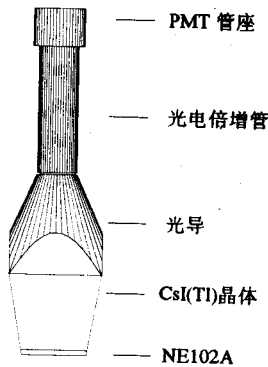


图1 探测器单元结构图

由于 CsI(Tl) 闪烁体端面与光电管端面形状大小差别很大, 所以选用航空有机玻璃材料做光导过渡, 用 Monte-Carlo 方法模拟光子在闪烁体及光导中的输运过程, 得到了光导的最佳形状和尺寸. 光导基体为圆锥体, 高 40mm, 后表面直径 16mm, 与 R1666 光阴极尺寸相同, 前表面与 CsI(Tl) 相同. 光导是用高精密程控机床, 在预先编制好的程序控制下加工而成的. 光导与 CsI(Tl)、PMT 光阴极之间都用硅胶耦合. 探测器的前表面用 $1.5\mu\text{mAl}$ 箔覆盖, 侧面由多层 0.1mm Teflon 包裹.

由于探测器是在高真空情况下使用, 热量不易散失, 在设计光电管管座时, 即要保证光电管信号输出有一定动态范围, 又要使功率损耗尽可能小, 使光电管得以长时间稳定工作. 静态工作电流 $\sim 0.75\text{mA}$. 外壳选用 $\phi 20\text{mm}$ 的软铁管制成, 并作发蓝处理, 以达到避光和屏磁效果.

2.2 鉴别原理

光电倍增管阳极输出脉冲由 NE102A 发光成份 L_{NE102A} 、CsI(Tl) 发光的快成份 L_{fast} 、慢成份 L_{slow} 三部分叠加. 总光输出

$$\begin{aligned}
 L_{\text{out}} &= L_{\text{NE102A}} + L_{\text{fast}} + L_{\text{slow}} = \int_0^t (k_1 e^{-\frac{t}{\tau_{\text{NE102A}}}} + k_2 e^{-\frac{t}{\tau_{\text{fast}}}} + k_3 e^{-\frac{t}{\tau_{\text{slow}}}}) dt \\
 &= \int_0^t (k_{\text{NE102A}} i(t) + k_{\text{fast}} i(t) + k_{\text{slow}} i(t)) dt,
 \end{aligned} \tag{1}$$

其中 k_1 、 k_2 、 k_3 是与电离密度相关的系数, τ_{NE102A} 、 τ_{fast} 、 τ_{slow} 是衰变时间常数, k_{NE102A} 、

k_{fast} 、 k_{slow} 是数值系数.

对信号进行分路并用 QDC(电荷-数字积分器)积分, 电荷积分时间间隔由不同长度的快慢门 Δt_{NE102A} 、 Δt_{fast} 、 Δt_{slow} 来控制:

$$\begin{cases} Q_{NE102A} = k_{NE102A} \int^{\Delta t_{NE102A}} i(t) dt, \\ Q_{fast} = k_{fast} \int^{\Delta t_{fast}} i(t) dt, \\ Q_{slow} = k_{slow} \int^{\Delta t_{slow}} i(t) dt. \end{cases} \quad (2)$$

通常 Q_{NE102A} 与 Q_{fast} 组合, 适于鉴别重碎片; Q_{fast} 与 Q_{slow} 组合, 适于鉴别轻碎片. 粒子鉴别基于 Bethe-Bloch 公式: $\Delta E \cdot E \propto MZ^2$. 对于重碎片, $Q_{NE102A} \propto \Delta E$, $Q_{fast} \propto E$. 对于轻碎片, $Q_{fast} \propto \Delta E$, $Q_{slow} \propto E$.

3 实验测量结果

对该探测器在 HIRFL 上进行了调试测量, 图 2 为实验中所用的电子学框图. 光电倍

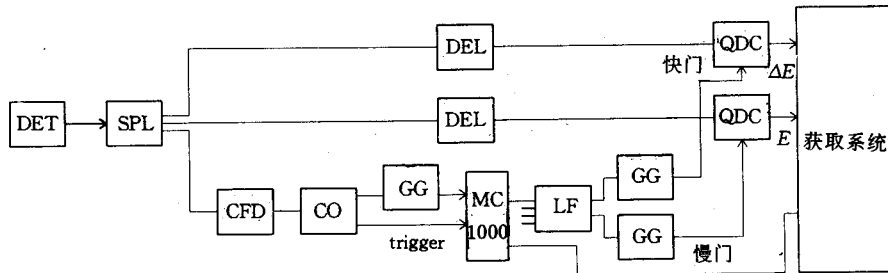


图2 单位组件的电子学框图

DET—探测器, SPL—分路, DEL—延迟, CFD—恒分甄别器, CO—符合, GG—门产生器,
LF—线性扇入/扇出, QDC—电荷-数字转换器, MC1000—门信号控制.

增管阳极输出信号被分成 3 路, 第 1 路进入 Phillips 7166CAMAC QDC 作为 ΔE 信号, 第 2 路进入 7166QDC 作为 E 信号, 第 3 路经过恒分甄别器给出时间信号来产生不同宽度的快慢门, 经不同延迟时间, 控制 QDC 积分的起始时间和时间间隔.

在 30MeV/u 的 $^{40}\text{Ar}+^{58}\text{Ni}$ 反应测量中, 探测器安排在距靶心 257mm 处, 实验室极角 $17^\circ \leq \theta \leq 18^\circ$, $\varphi = 10^\circ$. 当快门的宽度选为 40ns, 慢门宽度选取 600ns, 并延迟 200ns, 这样积分的两个信号相应于 Q_{NE102A} 、 Q_{fast} . 图 3 为测得的 ΔE - E 二维散布图. 因为探测器远离擦边角, 炮弹附近的碎片没有探测到.

数据用 Juhu 在线数据获取程序, 以事件格式记录到磁带上. 离线分析是使用 KVI 的 Pax 数据处理程序. 对二维散布图进行曲线拟合, 线性化处理, 并将其在 Z 轴上投影, 得到了元素的 Z 分布图(见图 4). 可见对于 $Z=1$ 的同位素 p、d、t 和 $Z \geq 2$ 的所有碎片都清楚地被鉴别出来.

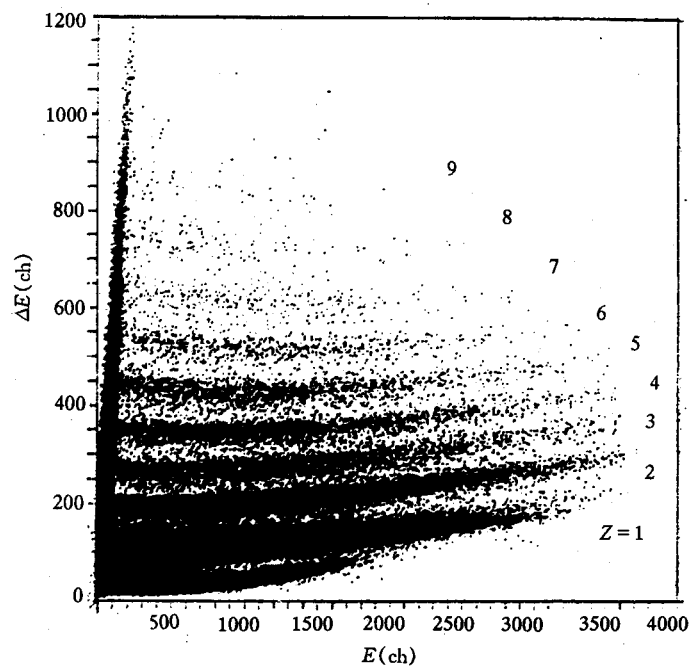
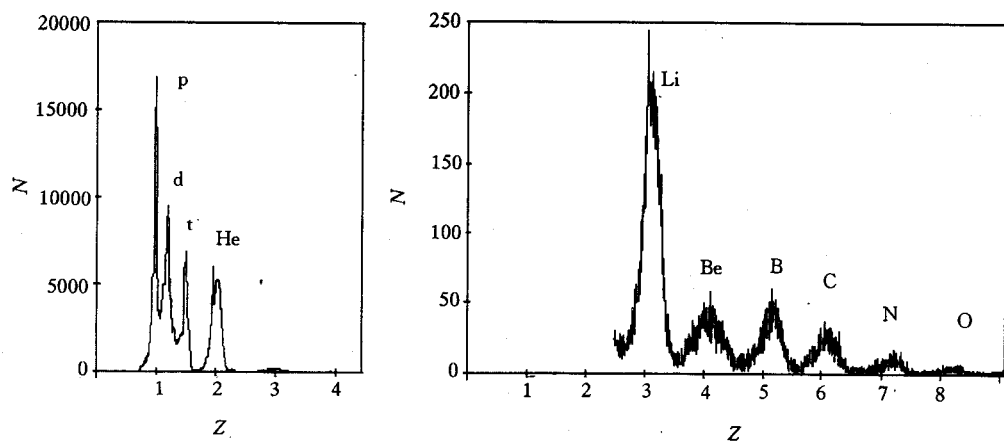
图3 ΔE - E 的两维散布图

图4 元素分辨图

4 结果讨论

CsI(Tl)闪烁探测器密度大、发光效率高、发光光谱能与光电倍增管很好地匹配,有好的能量分辨,是中能重离子望远镜中剩余能量探测器的最佳候选,利用本身的快慢两种成份,使用快慢门QDC方法或使用过零时间法均可鉴别 $Z \leq 2$ 的轻带电粒子。

NE102A 的引入提高了光脉冲的快成份比例, 加快了脉冲的前沿, 因此提高了粒子鉴别能力. 使之不仅能很好地鉴别轻粒子, 也可以很好地鉴别重碎片. 为了降低探测粒子的能量阈, 应选取更薄的 NE102A 薄片, 如 500、200、100、50、20 μm , 这由实验探测粒子 Z 分布范围确定. 薄片越薄, 探测阈越低, 能探测的粒子更重.

如果在这种探测器组合前面再引入电离室和 Si 半导体薄片探测器, 就能使探测阈更低, 粒子分辨会更好, 能鉴别更重的碎片.

由于 CsI(Tl) 时间响应相对慢, 不适于高计数率前角度探测, 但从 10° — 150° 的中角区, 各种碎片望远镜几乎都采用它作为剩余能量探测器. 与 BGO、BaF₂ 相比, CsI(Tl) 闪烁晶体发光效率高, 波长与光电倍增管、光二极管很好地匹配, 因此能量分辨好.

参 考 文 献

- [1] R. Wada *et al.*, *Nucl. Instr. Meth.*, **359**(1992)316.
- [2] 郭忠言、詹文龙、周建群等, 高能物理与核物理, **19**(1995)865.
- [3] J. Alarja, A. Dauchy, A. Giorni *et al.*, *Nucl. Instr. Meth.*, **A242**(1986)352.
- [4] R. T. De souza, N. Carlin, Y. D. Kim *et al.*, *Nucl. Instr. Meth.*, **A295**(1990)109.
- [5] J. C. Steckmeyer *et al.*, *Nucl. Instr. Meth.*, **A361**(1995)472.

A NE102A+CsI(Tl)+PMT Detector Telescope for Intermediate Energy Heavy Ion Reactions

Qi Zhong Guo Zhongyan Zhan Wenlong Zhou Jianqun Liu Guanhua
Zhang Wansheng Wang Jinchuan Lin Yuangen Zhu Yongtai
Xu Hushan Xie Yuanxiang

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

Received 23 May 1996

Abstract

This paper describes the structure and performance of the phoswich telescope made of 1mm thick scintillator NE102A and 40mm thick CsI(Tl). The front area of CsI(Tl) is 24mm \times 24mm and back area is 37mm \times 37mm. The p, d and t of isotope and all fragments have been separated clearly using QDC method.

Key words intermediate energy heavy ions, phoswich telescope, particle identification.