

一组用于中能重离子核反应研究的 高质量分辨望远镜探测器*

周建群 詹文龙 郝洪飞 诸永泰
郭忠言 胡晓庆 刘冠华 赵有雄
(中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000)

摘 要

本文描述了一个用于中能(20—100MeV/u)重离子核反应研究的高质量分辨带电粒子望远镜探测器。该望远镜由三片全耗尽硅半导体 ΔE 探测器(130 $\mu\text{m} + 1580 \mu\text{m} + 5000 \mu\text{m}$)和一块 $10 \times 10 \times 30 \text{mm}^3 \text{CsI (Tl)}$ 闪烁体(光二极管读出)E探测器组成,具有高能量分辨、高质量分辨(对 ^{12}C $\Delta A/A = 2.5\%$ FWHM)、大能量范围(对于 α 粒子为 16—350MeV)等特点,能较好地用于中能核反应研究中类弹碎片和轻粒子的同位素鉴别与能量测量。

一、引 言

中能区的(20—100MeV/u)重离子核反应既有低能核反应的二体反应现象,也存在高能条件下的多体反应特点,因此在该能区中,各种反应机制相互竞争,反应相当复杂。同时,随着轰击能量的升高和反应系统的加重,出射粒子种类增多、粒子多重性增高、出射产物的能量范围增大。这就要求探测设备具有宽的能量动态范围、高的元素和质量分辨,以求全方位测量核反应信息,更好地研究中能区各种核反应特性。

多叠层带电粒子望远镜是中能重离子核反应研究中执行粒子鉴别,进行能量、反应截面、角分布测量的最基本、最有用的工具之一。它不仅用于大量的单举实验中,也用于关联和带电粒子多重性测量,是许多大型实验装置的重要组成部分^[1-3]。许多重离子实验室研制出各种类型的探测器望远镜,以满足自己的实验要求,例如 GSI 的 R. Trockel 等人^[4]研制的对数密度 Hybrid 探测器,该探测器由电离室、三块半导体及 BGO 闪烁体(光二极管读出)组成,可测量 $Z = 1-16$ 的各种元素和 $Z \leq 6$ 的元素、同位素,能量动态范围为 0.5—100MeV/u,并有很好的 Z 、 A 分辨(对碳 $\Delta Z = 0.4$)。又如中国科学院近代物理研究所冯恩普等人^[5]研制的气体 phoswich 探测器,由平行板雪崩室(PPAC)、电离室(IC)及光叠层探测器(phoswich)组成,有宽的能量动态范围和高的 Z 分辨(对氧 $\Delta Z/Z = 5\%$)。

尽管有许多望远镜在各个实验室中出现,但在一定 Z 和 A 范围内能同时完成元素和同位素鉴别的望远镜还不多见。本文描述的用于中能重离子研究的高质量分辨望远镜探

本文 1991 年 10 月 4 日收到。

* 国家自然科学基金和中科院数理化局青年基金资助项目。

测器,就是一组满足以上要求的望远镜,它具有能量动态范围大、能量和质量分辨高等特点。

二、探测器结构与粒子鉴别原理

此探测器是 $\Delta E-E$ 型望远镜探测器,是根据非相对论下 $\Delta E \cdot E \propto MZ^2$ 原理来进行粒子鉴别的。设计时考虑了以下物理要求:1)对轻粒子和中重碎片有好的 Z 、 A 分辨;2)有大的能量动态范围,以便测量所有反应产物;3)有小的能量阈;4)体积尽量小,使用方便可靠,稳定性好。

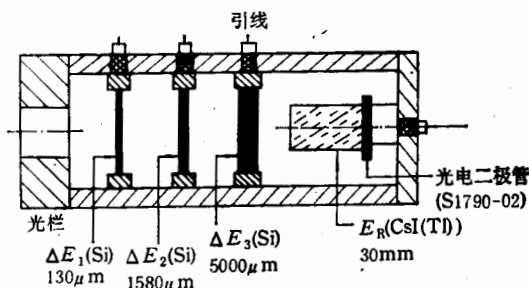


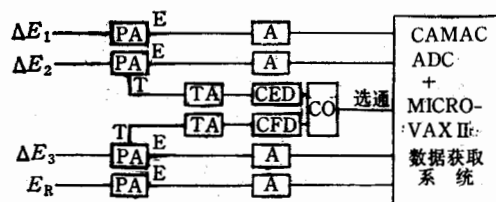
图1 探测器结构图

探测器的结构如图1所示,三片全耗尽 Si 半导体组成 ΔE 探测器(厚度分别为 130 μm , 1580 μm , 5000 μm),前两片探测器由本所探测器组自行研制,第三片为 ORTEC 公司生产。 E 探测器是 $10 \times 10 \times 30 \text{mm}^3$ CsI(Tl) 晶体,由 S1790-02 光二极管读出。由于中能区反应产物能量范围很大,既有低能产物也有高达几百 MeV 的轻粒子,要完全阻止住几百 MeV 的轻粒子,所要求的半导体厚度是非常大的。而厚度达 5mm 的半导体制作困难、价格昂贵,因此 E 探测器采用了 CsI(Tl) 晶体,它的阻止本领强,厚度可根据要求随意改变,加上采用光二极管读出,所以使用方便(所加电压只需 30—40V);稳定性好、不受电磁场干扰;体积小、可组成阵列探测器进行测量。CsI(Tl) 晶体的处理与包装同文献[6]。

三、测试与实验结果

我们分别用 α 源和在 HIRFL 上进行实验测量来对该探测器进行检验。先采用 ^{241}Am 源的 5.486 MeV α 粒子对单片探测器进行了测试,测得 $\Delta E_1(130 \mu\text{m})$ 能量分辨为 1%, $\Delta E_2(1580 \mu\text{m})$ 能量分辨为 0.7%, ΔE_3 能量分辨为 0.1%, CsI(Tl) 晶体光二极管读出探测器能量分辨为 3.0%^[6]。

我们使用这组望远镜探测器在 HIRFL 上进行了 46.7 MeV/u ^{12}C 轰击不同靶 (^{197}Au , ^{115}In , ^{58}Ni) 的实验测量,进行碎裂和弹性散射研究。将该探测器置于大面积位置灵敏电离室终端的一个转臂上,转臂由微机控制可在 0° — 180° 范围内转动,其精度为 0.1° 。探测器结构如图1,前为一厚 8mm、孔径 6mm 的铅光栏,侧面装有强磁铁,光栏上贴一厚



PA——前置放大器 (ORTEC 142B) A——线性放大器 (ORTEC 572) TA——定时时间放大器 (ORTEC 474) CFD——恒分甄别器 (ORTEC CF4000) CO——符合(ORTEC CO4010)

图 2 实验电子学线路简图

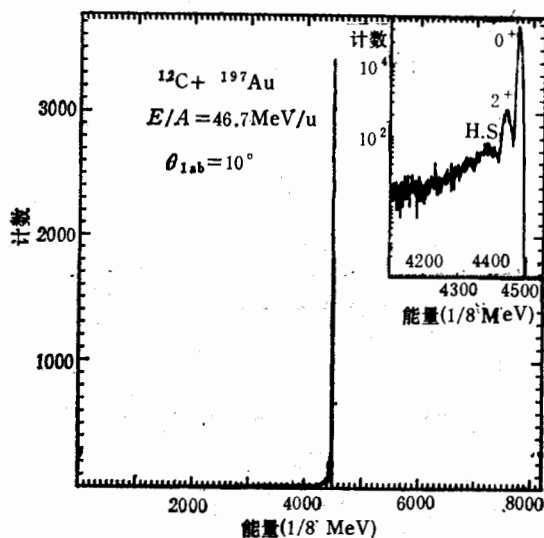
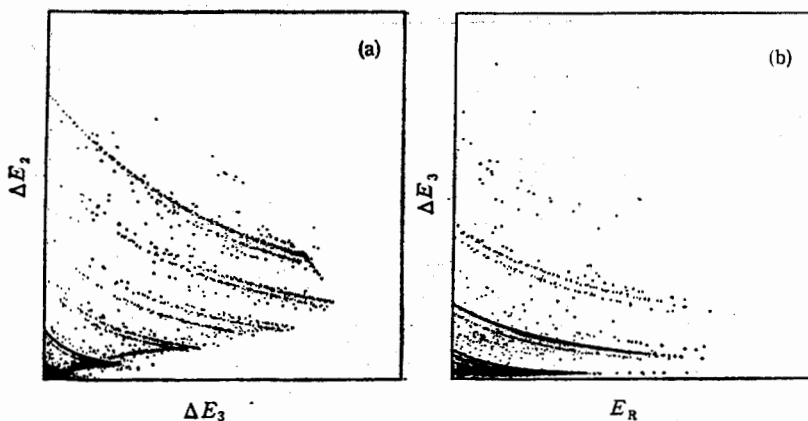


图 3 $\theta_{lab} = 10^\circ$ 处测得的 $^{12}\text{C}(46.7\text{MeV/u}) + ^{197}\text{Au}$ 弹散能谱



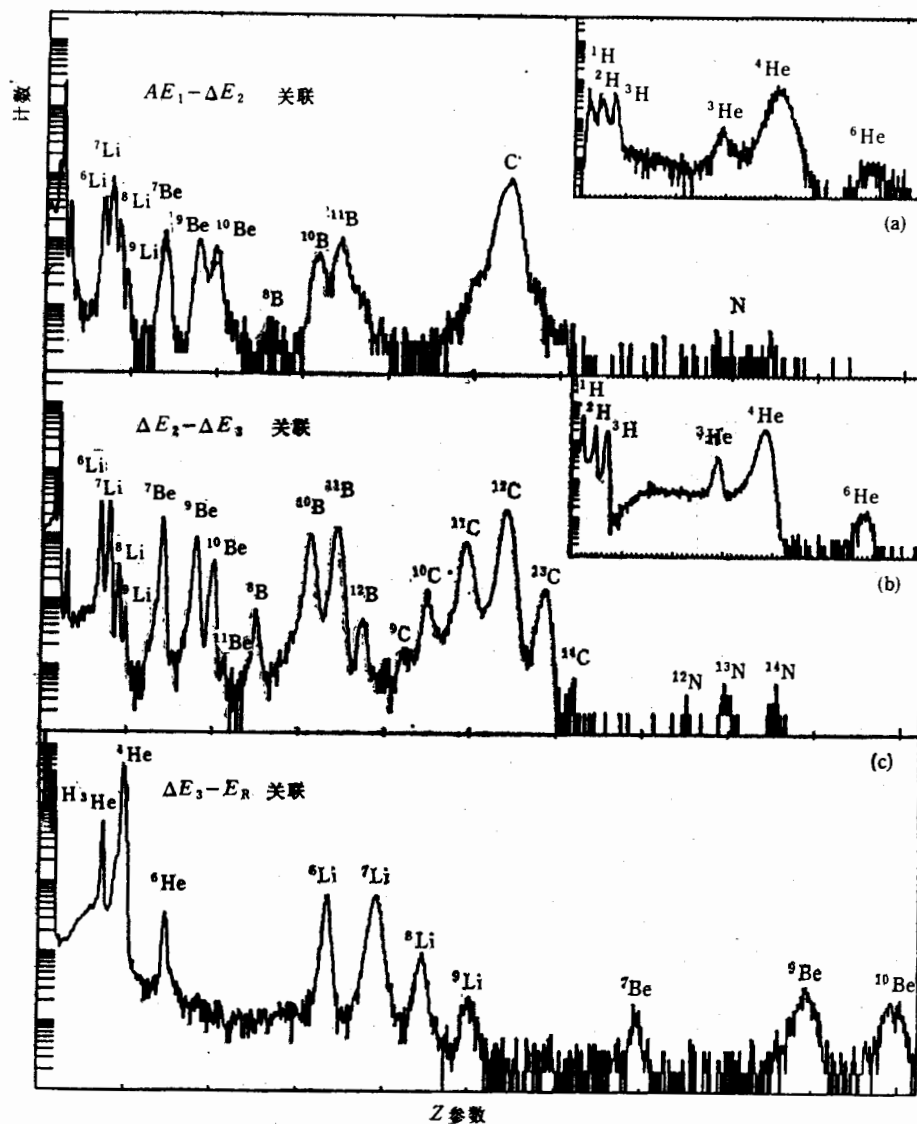
$^{12}\text{C}(46.7\text{MeV/u}) + ^{197}\text{Au} (\theta_{Lab.} = 10^\circ)$
 $\Delta E_1: 130\mu\text{m} \Delta E_2: 1580\mu\text{m} \Delta E_3: 5000\mu\text{m} E_R(\text{CsI}): 30.0\text{mm}$

图 4 二维散布图

a) $\Delta E_2 - \Delta E_3$ 关联散布图 b) $\Delta E_3 - E_R(\text{CsI}(Tl))$ 关联散布图

1.5 μm 的铝箔, 上加 -500V 的电压, 这都是为了去除来自靶的电子干扰。探测器到靶心距离 50cm。为减小反向漏电流和噪声, 整个望远镜由半导体致冷电源保持在 -5°C , 各片探测器的工作电压分别为 $\Delta E_1: 100\text{V}$; $\Delta E_2: 750\text{V}$; $\Delta E_3: 1600\text{V}$ 。

实验中采用的电子学线路如图 2 所示, 各个探测器能量信号均经前置放大器 (PA)、主放大器 (A), 送入 CAMAC 的 ADC 进行转换, 由 Micro-VAX II 的 Goosy 在线数据获取系统进行获取, CAMAC 的选通信号来自于 ΔE_2 和 ΔE_3 时间信号。这两个时间信号经恒分甄别 (CFD)、或门 (OR) 后选通 CAMAC。



$^{12}\text{C}(46.7\text{MeV/u}) + ^{197}\text{Au} (\theta_{l.a.} = 10^\circ)$
 $\Delta E_1: 130\mu\text{m}$ $\Delta E_2: 1580\mu\text{m}$ $\Delta E_3: 5000\mu\text{m}$ $E_R(\text{CsI}): 30.0\text{mm}$

图 5 同位素分布

a) 对应于 $\Delta E_1 - \Delta E_2$ 关联的 Z 谱 (右上角为放大的轻粒子 Z 谱) b) 对应于 $\Delta E_2 - \Delta E_3$ 关联的 Z 谱 (右上角为放大的轻粒子 Z 谱) c) 对应于 $\Delta E_3 - E_R(\text{CsI(T1)})$ 关联的 Z 谱

该探测器具有很好的能量分辨, 其中的两片探测器曾组合成望远镜测量了 HIRFL 的束流能散, 得到了束流能散好于 0.3% 的结果^[7]. 图 3 是探测器置于 10° 处测得的 ^{12}C (46.7MeV/u) + ^{197}Au 的弹性散射能谱, 从图可见 $4.4\text{MeV}^{12}\text{C}$ 的 2^+ 态非弹性散射峰被很好地分开.

图 4 是探测器在同一角度测得的同一系统出射粒子的二维散布图. a) 是 $\Delta E_2 - \Delta E_3$ 关联图, 可以清楚地分开直到氮的各种产物同位素, 由于受反应截面的限制而未能测得更重的产物, b) 是 $\Delta E_3 - E_R(\text{CsI(Tl)})$ 关联图, 同样可以清楚鉴别轻粒子直到 Be 的各种同位素 (由于更重的元素未能穿透前三片半导体探测器). 用荷兰 KVI 的 pax 软件进行离线处理, 得到对应的 Z 谱如图 5, 由 ^{12}C 谱可得到 $\Delta A/A = 2.5\%$ (FWHM).

望远镜探测器的能量阈决定于 ΔE_1 的厚度. ΔE_1 厚为 $130\mu\text{m}$, 使得 α 粒子的能量阈为 16MeV , 导致了低能重碎片和能谱低能部分的丢失. 我们准备将电离室或 Bragg 探测器置于该望远镜前以进一步降低能量阈, 提高望远镜的动态范围.

本望远镜的半导体能量刻度采用标准 α 源和精密脉冲发生器进行, CsI(Tl) 晶体探测器能量刻度同文献[6]. 这组望远镜探测器得到的物理结果还在处理之中.

本工作得到了国家基金委和中科院数理化局青年基金的资助, 作者在此表示衷心感谢. 并感谢探测器组提供性能良好的 ΔE 探测器.

参 考 文 献

- [1] T. Murakami et al., *Nucl. Inst. and Meth.*, **A275**(1989), 112—122.
- [2] E. Plagnor, Second. IN2P3-RIKEN Symposium on Heavy-Ion Collisions, P231.
- [3] H. Geissel et al., GSI Report, (1989), 255.
- [4] R. Trockel et al., GSI Report, (85—1), 290.
- [5] 冯恩普等, 高能物理与核物理, **13**.(1989), 1092.
- [6] Xi Hongfei et al., *Nucl. Inst. and Meth.*, "The Use of CsI (Tl) Scintillator with Photodiode readout in Heavy-Ion Reaction Experiments", To be published.
- [7] Zhu Yongtai et al., IMP Annual Report, (1989), 4.

A High Mass Resolution Telescope for Heavy-Ion Reaction Research at Intermediate Energies

ZHOU JIANQUN ZHAN WENLONG XI HONGFEI ZHU YONGTAI
GUO ZHONGYAN HU XIAOQING LIU GUANHUA ZHAO YOUXIONG
(Institute of Modern Physics, Academic Sinica, Lanzhou 730000)

ABSTRACT

A high mass resolution telescope was built for heavy-ion reaction mechanism research at intermediate energies ($20\text{--}100\text{MeV/u}$). This telescope consists of three silicon ΔE detectors ($130\mu\text{m} + 1580\mu\text{m} + 5000\mu\text{m}$) and a CsI(Tl) scintillator with photodiode readout E detector. It can be used for particle identification with its high mass resolution (typical for ^{12}C $\Delta A/A = 2.5\%$ FWHM) and for energy measurement in the broad range (typical $16\text{--}350\text{MeV}$ for α particle) with its high energy resolution.