

# 横向场电离室在RIBLL实验中的应用\*

章学恒<sup>1,2;1)</sup> 孙志宇<sup>1</sup> 胡正国<sup>1,2</sup> 徐治国<sup>1</sup> 徐珊珊<sup>1</sup> 王猛<sup>1</sup> 毛瑞士<sup>1,2</sup> 付芬<sup>1,2</sup>  
张宏斌<sup>1</sup> 黄天衡<sup>1,2</sup> 郑川<sup>1,2</sup> 高辉<sup>1,2</sup> 高启<sup>1,2</sup> 陈若富<sup>1,2</sup> 李波<sup>1,2</sup> 樊瑞睿<sup>1,2</sup>  
王建松<sup>1</sup> 肖国青<sup>1</sup> 詹文龙<sup>1</sup> 靳根明<sup>1</sup> 郭忠言<sup>1</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** 描述一种可用于兰州放射性束流线(RIBLL)上的 $\Delta E$ 探测器——横向场气体电离室. 对其性能进行了测试, 包括它的坪曲线、探测效率和能量分辨. 测试结果显示, 在混合气Ar(80%)+CO<sub>2</sub>(20%)的不同气压下, 此电离室具有较长的工作坪区, 较小的坪斜. 相对于Si的探测效率为99.31%. 在118mbar的气压下, 对能损为4.94MeV的 $\alpha$ 粒子, 其能量分辨率为3.25%. 并在RIBLL上利用50MeV/u的<sup>58</sup>Ni轰击Ta靶的实验中进行了在束应用.

**关键词** 横向场气体电离室 坪曲线 能量分辨率 粒子鉴别

## 1 引言

近年来, 极端同位旋自由度下核素结构、性质等的研究已成为核物理研究的热点之一. 对这些奇异核的研究可以检验原有的核模型、核理论, 丰富核数据, 发展新的核物理实验技术和理论, 为核物理研究开辟了新的领域. 作为这一研究工作的基础, 放射性核素的产生、分离和鉴别技术也得到了快速的发展, 世界上一些主要的核物理实验室先后建立起各具特色的放射性离子次级束流线装置. 同其他放射性离子束(RIB)产生方法相比较, 弹核碎裂方法(PF)具有分离时间短等优点, 特别适用于产生滴线区的短寿命核素, 因而被普遍采用. 兰州重离子加速器国家实验室的RIBLL<sup>[1]</sup>就是典型的PF型装置. 它自1997年12月投入运行以来, 已经成功地开展了大量涉及放射性核束引起核反应机制、奇异核结构及衰变性质等研究领域的实验工作, 并取得了较好的结果. 同其他同类装置, 如GANIL的LISE<sup>[2]</sup>, MSU的A1200<sup>[3]</sup>, RIKEN的RIPS<sup>[4]</sup>, GSI的FRS<sup>[5]</sup>等一样, RIBLL也采用 $B\rho$ - $\Delta E$ - $B\rho$ 方法实现粒子的鉴别和纯化. 由于受弹核碎裂核

反应机制的影响, 碎裂产物混杂, 在某些区域目标核的纯度较低, 因此粒子鉴别对于RIBLL的正常工作十分重要.

目前在RIBLL上, 弹核碎裂产物的鉴别是通过结合飞行时间TOF、能损 $\Delta E$ 与能量 $E$ 来实现的. 目前, RIBLL上采用半导体硅探测器作为 $\Delta E$ 探测器, 这主要是着眼于其较高的能量分辨和探测效率. 但采用Si探测器具有一些明显的不足, 如有效探测面积小、可承受计数率较低、成本高、抗辐照损伤能力差等, 同时Si探测器固有的沟道效应等因素也会对离子鉴别带来一定的负面影响. 特别是随着感兴趣核素原子序数的增加, 一方面, 受加速器条件限制, RIBLL所能提供的束流能量下降, 另一方面, 离子在探测器中的能损迅速增大, Si越来越难以满足离子分辨的需要. 因此需要研制一种新型的 $\Delta E$ 探测器. 气体电离室<sup>[6, 7]</sup>具有有效探测面积大、介质厚度均匀、能量分辨好、辐射损伤小、价格低廉等优点, 同时其厚度可调, 因此是解决上述问题的一种较好的选择. 本文介绍的横向场气体电离室就是为了解决这一问题而研制的.

2006-07-31 收稿

\* 国家自然科学基金(10305015, 10221003)资助

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

## 2 横向场电离室

### 2.1 横向场电离室的结构

该电离室由入射窗、出射窗、阳极板、阴极板、均压环和Frisch栅等部分组成, 详细结构可参见参考文献[8]. Frisch栅的作用是为了消除离子对产生位置对输出脉冲幅度的影响, 仅当在工作气体中电离产生的电子漂移通过Frisch栅后才会阳极板上观测到脉冲信号.

### 2.2 横向场电离室的性能测试

1) 工作坪区: 工作坪区是电离室的一个重要的性能指标. 本次测试采用的工作气体为Ar(80%)+CO<sub>2</sub>(20%)的混合气, 电离室工作在流气状态下, 利用3组分 $\alpha$ 源详细测量了在多个气压下的工作坪区, 如图1所示. 从图1中可以看出, 不同气压下关系曲线均未进入正比区, 原因是当两极板所加电压过高时, 电离室发生打火现象.

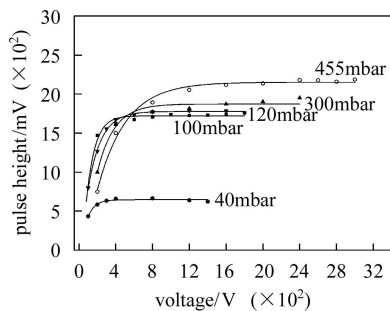


图1 在不同气压下测得的电离室坪曲线

从图中也可以得到此电离室在进入饱和区和发生打火之间的部分坪区长度, 如表1所示. 从表1中可以看出, 此电离室在不同的工作气压下, 坪区较长, 坪斜较小, 可以在适当的电压下稳定的工作.

表1 电离室的部分坪区长度表

气压/mbar	坪区起始电压/V	部分坪区长度/V
40	300	1100
100	400	1400
120	550	1250
300	800	1700
455	1200	1900

2) 能量分辨: 利用3组分 $\alpha$ 源测量电离室的能量分辨,  $\alpha$ 粒子在经过15mm长的 $\phi$ 4mm光阑准直后进入电离室. 电离室工作气体为Ar(80%)+CO<sub>2</sub>(20%)的混合气, 气压为(118 $\pm$ 1)mbar, 阳极电压为300V, 阴极电压为900V. 由程序可以计算出3组分 $\alpha$ 粒子

在进入中间阳极前的能量分别为: <sup>239</sup>Pu 4.22MeV, <sup>241</sup>Am 4.59MeV, <sup>244</sup>Cm 4.94MeV, 图2为进行能量刻度后的能谱图, 对3个峰位进行高斯拟合, 得到各峰的半高宽(FWHM)从左至右分别为186.33, 173.15和160.60keV, 对应的能量分辨分别为4.43%, 3.77%和3.25%.

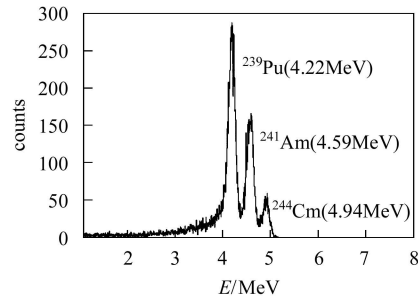


图2 3组分 $\alpha$ 源在电离室中((118 $\pm$ 1)mbar)的能损粒子全阻止.

3) 探测效率: 在入射粒子通过的电离室后面放一Si探测器, 用Si探测器的单举信号作为CAMAC ADC数据获取的选通信号. 由3组分 $\alpha$ 源提供入射粒子, 为了保证入射粒子能够通过电离室而在Si中产生信号, 应使电离室的气压足够小. 实验中工作气体仍为Ar(80%)+CO<sub>2</sub>(20%)的混合气, 选择气压为40mbar, 电离室阳极电压为200V, 阴极电压为600V. 最后测得电离室相对于Si的探测效率为99.31%.

## 3 横向场电离室的在束应用

该电离室在中国科学院近代物理研究所放射性束流装置(RIBLL)上作为TOF- $\Delta E$ -E粒子鉴别方法中的 $\Delta E$ 探测器进行了应用. 利用50MeV/u的<sup>58</sup>Ni初级束轰击Ta靶, 实验中的TOF探测器为10 $\mu$ m的BC-404塑料闪烁体, 安放于RIBLL的第一、第二聚焦点T1, T2上, E探测器为CsI晶体(20mm $\times$ 20mm $\times$ 20mm), 放于T2靶室,  $\Delta E$ 探测器放于T2靶室的CsI晶体之前与TOF探测器之后.  $\Delta E$ 探测器还包含一片150 $\mu$ m的Si探测器, 用它可以与电离室 $\Delta E$ 探测器作比较. 电离室工作气体为Ar(80%)+CO<sub>2</sub>(20%)的混合气, 处于流气状态, 工作气压为(120 $\pm$ 1)mbar. 实验时, CsI晶体置于电离室出射窗之后的近距离处, 而Si置于电离室入射窗之前, 且距入射窗相对较远, 所以我们只能得到电离室在束应用时相对于CsI晶体的探测效率. 通过对<sup>57</sup>Ni等碎裂产物进行卡窗计算得到此电离室对各种产物, 其相对于CsI晶体的探测效率均为100%.

两种 $\Delta E$ 探测器在RIBLL上在束应用时的能量分辨比较如图3所示. 此图为进行能量刻度后的飞行时间在220—224ns之间的碎裂产物在 $\Delta E$ 探测器中的一维能损图. 由图3(a)与(b)两图可以得到两种 $\Delta E$ 探测器的能量分辨, 在计算时去除碎裂产物能量分散所引起的能量展宽, 得到电离室的能量分辨在3.7%左右, 而Si的能量分辨在2.4%左右, 即电离室的能量分辨要比Si的分辨略差些, 故此电离室仍需进一步完善, 提高其能量分辨. 提高电离室能量分辨率的主要方法是降低噪声, 提高信噪比.

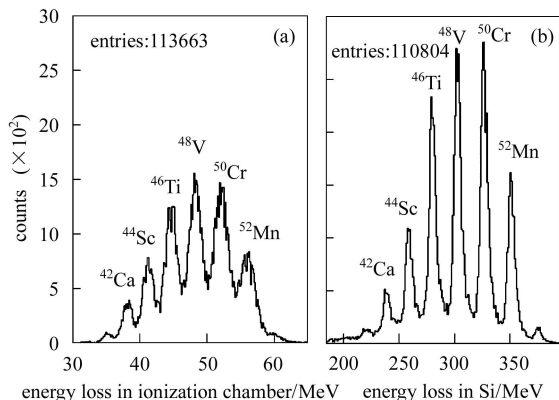


图3 飞行时间220—224ns之间的粒子在 $\Delta E$ 探测器中的一维能损图

(a) 粒子在电离室中的能损图; (b) 粒子在Si中的能损图. 电离室工作气压为 $(120\pm 1)$ mbar.

虽然电离室的能量分辨较差于Si的能量分辨, 但通过实验, 我们发现用电离室作 $\Delta E$ 探测器比用Si作 $\Delta E$ 探测器的粒子鉴别能力要好, 这一点可以通过比较两种 $\Delta E$ 探测器与E探测器的二维散点图得到, 如图4所示. 通过图4中的(a)与(b)两图的比较可以看出, 用电离室作 $\Delta E$ 探测器可以将粒子很好地鉴别出来, 而用Si作 $\Delta E$ 探测器时在能损的低能端产生了一个尾巴, 这主要是由于Si的沟道效应所产生的, 它使得粒子鉴别能力下降. 所以说在针对较重的粒子进行鉴别时, 用电离室作 $\Delta E$ 探测器比用Si作 $\Delta E$ 探测器具有更好的粒子鉴别能力.

因此, 此电离室在RIBLL线上作为 $\Delta E$ 探测器. 在对高 $z$ 的粒子鉴别中, 它可以很好地取代Si探测器,

解决了粒子由于Si的沟道效应等因素所带来的 $\Delta E$ 探测器分辨差, 从而影响粒子鉴别精度的问题. 且相对Si而言, 电离室有无辐射损伤, 有效面积和体积可随意设计, 价格低廉等优点, 因此在高 $z$ 的粒子鉴别中, 电离室可以很好地取代Si作为 $\Delta E$ 探测器实现粒子鉴别.

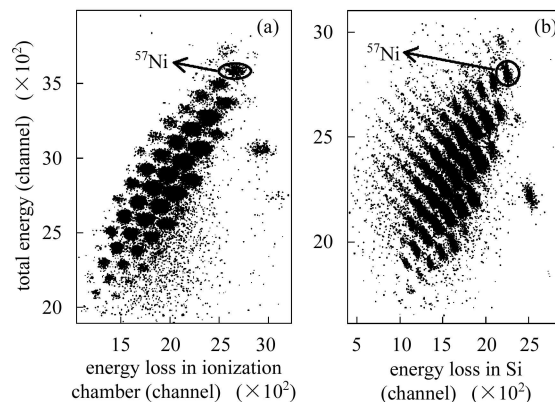


图4 粒子在电离室(a)和粒子在Si(b)中的能损与粒子总能量的二维散点图  
电离室工作气压为 $(120\pm 1)$ mbar.

## 4 结论和讨论

本文主要介绍了横向场电离室的一些测试结果和在RIBLL线上的在束应用. 测量了此电离室在不同气压下的工作坪区, 可以看出在不同的气压下, 其坪区长度都在1000V以上, 且坪斜较小, 说明了电离室在不同气压下都可以很稳定的工作. 在118mbar下, 对能损为4.94MeV的 $\alpha$ 粒子, 能量分辨为160.60keV, 能量分辨率为3.25%. 在40mbar下, 对于 $\alpha$ 粒子, 相对于Si探测器来说其探测效率为99.31%. 在RIBLL线上的在束测试表明, 对于高 $z$ 的弹核碎裂产物的鉴别, 此电离室完全可以替代Si作为 $\Delta E$ 探测器, 实现很好的粒子鉴别, 离子越重优势越明显. 但此电离室仍不够完善, 其能量分辨仍需进一步提高, 影响能量分辨的主要因素是电离室的噪声和靶室系统的低频干扰, 因此需要进一步要减小电离室的噪声, 有效抑制低频干扰, 提高信噪比, 以获得较好的能量分辨.

## 参考文献(References)

- 1 ZHAN Wen-Long, GUO Zhong-Yan, LIU Guan-Hua et al. Science in China (Series A), 1999, **42**(5): 529—536
- 2 Anne R, Bazin D, Mueller A C et al. N.I.M., 1987, **A257**: 215—232
- 3 Sherrill B M et al. N.I.M., 1991, **B56/57**: 1106—1110
- 4 Kubo T, Ishihara M, Inabe N et al. N.I.M., 1992, **B70**: 309—319
- 5 Geissel H, Armbruster P, Behr K H et al. N.I.M., 1992, **B70**: 286—297
- 6 Goulding F S et al. Ann. Rev. Nucl. Sci., 1975, **25**: 167
- 7 Sosin Z et al. Nucl. Instrum. Methods, 1994, **A351**: 383—386
- 8 HU Zheng-Guo, GUO Zhong-Yan, ZHAN Wen-Long et al. HEP & NP, 2003, **27**(10): 905—908 (in Chinese)  
(胡正国, 郭忠言, 詹文龙等. 高能物理与核物理, 2003, **27**(10): 905—908)

## A Transverse Field Gas Ionization Chamber Performed at RIBLL\*

ZHANG Xue-Heng<sup>1,2;1)</sup> SUN Zhi-Yu<sup>1</sup> HU Zheng-Guo<sup>1,2</sup> XU Zhi-Guo<sup>1</sup> XU Hu-Shan<sup>1</sup> WANG Meng<sup>1</sup>  
 MAO Rui-Shi<sup>1,2</sup> FU Fen<sup>1,2</sup> ZHANG Hong-Bin<sup>1</sup> HUANG Tian-Heng<sup>1,2</sup> ZHENG Chuan<sup>1,2</sup> GAO Hui<sup>1,2</sup>  
 GAO Qi<sup>1,2</sup> CHEN Ruo-Fu<sup>1,2</sup> LI Bo<sup>1,2</sup> FAN Rui-Rui<sup>1,2</sup> WANG Jian-Song<sup>1</sup> XIAO Guo-Qing<sup>1</sup>  
 ZHAN Wen-Long<sup>1</sup> JIN Gen-Ming<sup>1</sup> GUO Zhong-Yan<sup>1</sup>

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

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

**Abstract** A transverse field gas ionization chamber as  $\Delta E$  detector at the Radioactive Ion Beam Line in Lanzhou (RIBLL) is described. A high detection efficiency and long plateau are achieved with the mixed gas Ar(80%)+CO<sub>2</sub>(20%). The energy resolution is 3.25% for 4.94MeV  $\alpha$  particle. This ionization chamber has been tested in the experiment with 50MeV/u <sup>58</sup>Ni bombarding Ta at RIBLL. All the fragments can be identified clearly by the ionization chamber.

**Key words** transverse field gas ionization chamber, plateau, energy resolution, particle identification

Received 31 July 2006

\* Supported by National Natural Science Foundation of China (10305015, 10221003)

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