

# 加速器质谱 (AM S) 测量中充气飞行时间探测方法研究

管永精<sup>1,2</sup>, 阮向东<sup>1,2</sup>, 郑元丰<sup>1,2</sup>, 董克君<sup>1</sup>, 武绍勇<sup>1</sup>, 何明<sup>1</sup>, 姜山<sup>1</sup>

(1 中国原子能科学研究院核物理研究所, 北京 102413;

2 广西大学物理系, 广西南宁 530004)

**摘要:** 为了提高加速器质谱 (AM S) 测量中同量异位素的分辨能力, 设计了一种新型探测器即充气飞行时间探测器。主要探讨了充气飞行时间谱仪 (GF-TOF) 的原理、结构和测试方法, 给出了用  $\alpha$  源调试的结果。通过增加离子的能量并合理选择气体和飞行距离提高 GF-TOF 对同量异位素的分辨能力。

**关键词:** 质谱学; 充气飞行时间探测器 (GF-TOF) 测量方法; 加速器质谱 (AM S); 同量异位素

**中图分类号:** O 657. 63; O 572. 212 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-2997(2003)02-381-03

加速器质谱法 (AM S) 是 20 世纪 70 年代末发展起来的一种核分析技术<sup>[1,2]</sup>, 它有效地排除了各种本底干扰, 从而具备了灵敏度高 (同位素原子数比为 10~ 15 数量级)、样品用量少 (mg)、测量时间短等优势。在 AM S 测量中, 用于鉴别同量异位素的方法目前常用的有负离子或分子离子法、能量损失法 ( $E-E$  探测望远镜方法) 及充气磁谱法。其它的方法还有全剥离法、激光和强电场法<sup>[3]</sup>、入射法<sup>[4]</sup>。由于  $E-E$  探测望远镜方法对粒子的能量有一定的要求, 对于  $Z > 30$  的核素, 要实现同量异位素的鉴别就需要高于 5 MeV/核子的能量, 这对于常用的 AM S 系统来说是很困难的, 从而使得  $E-E$  望远镜方法受到了限制。在充气磁谱法中, 要达到好的分辨, 要求离子具有很高的能量, 而且同量异位素的排除能力随原子序数的增加而降低。为了提高 AM S 测量中同量异位素的鉴别能力, 我们打算建立一套充气飞行时间 (GF-TOF) 探测系统, 探讨 GF-TOF 探测器的原理、结构和调试方法, 为进一步的实验研究建立可行、可靠的基础。

## 1 GF-TOF 探测器的原理、结构

由重离子在介质中的能量损失公式:

$$-\frac{dE}{dx} = B \left( \frac{Z^2 M}{E} \right) \ln \frac{bE}{M} \quad (1)$$

(1) 式中,  $E$  为能量;  $x$  为重离子在介质中的距离;  $Z$  为电荷数;  $M$  为质量数;  $B$ 、 $b$  为与吸收体有关, 而与入射离子无关的常数。

两个具有相同能量的同量异位素在同一介质中的能量损失率是不同的, 则它们的速度改变率相应的也就不同, 因此它们穿过同等长度的同一介质所需要的时间也就不同。通过测量这一时间的不同, 就可以进行同量异位素的鉴别。

一个完整的充气飞行时间系统应该由起始时间探测器、充气室和停止时间探测器三个部分组成。我们设计了一个长度  $l$  为 500 mm 充气室, 充气室的后面有一活动调节杆, 可以调节飞行距离, 杆的一端安装一个金硅面垒探测器作为停止时间探测器。起始时间探测器由碳膜加微通道板所构成<sup>[5]</sup>。在本实验中所使用的金硅面垒探

收稿日期: 2002-09-02

作者简介: 管永精 (1978~), 男 (汉族), 广西桂林人, 硕士生, 物理专业

E-mail: guany@iris.ciae.ac.cn



测器采用的是北京核仪器厂的 GM 20 型, 微通道板是南京电子器件研究所生产。GF-TOF 结构示意图示于图 1。

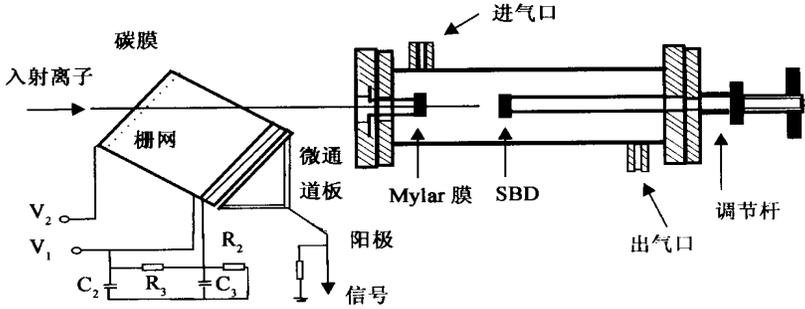


图 1 GF-TOF 结构示意图  
Fig 1 Structure scheme of GF-TOF

### 2 GF-TOF 探测器的调试和初步结果

GF-TOF 探测器系统的调试是在中国原子能科学研究院 AMS 小组的管道上进行的, 采用  $7.4 \times 10^6$  Bq 的  $^{241}\text{Am}$  源, 充气室内的入射窗采用  $1.5 \mu\text{m}$  的 mylar 膜, 微通道板采用  $50 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  碳膜, 工作气体为氩气与甲烷的混合气体  $V(\text{Ar}) : V(\text{CH}_4) = 9 : 1$ 。

在选择适当的气压和飞行距离的情况下, 得到了以下结果:

(1) 在真空中对系统进行调试, 金硅面垒探测器信号分别经两个 583 延时后过 TAC 的时

间分辨为 104 ps, MCP 经过两个 583 延时后时间分辨为 14.6 ps;

(2) 在真空中, 当飞行距离为 28 cm 时, 两定时信号经 583 延时后的时间分辨  $R_t$  为 1.1 ns (见图 2);

(3) 当 MCP 内真空为  $2.7 \times 10^{-3}$  Pa, 飞行距离为 28 cm (真空中 25 cm, 气体中 3 cm), 充气室内充 9.3 kPa P10 与空气的混合气体时, 时间分辨  $R_t$  为 658 ps (见图 3);

(4) 图 4 为加不同偏压到金硅面垒探测器上, 得到的电压与半峰高宽 (FWHM)  $b_2$  的关系。

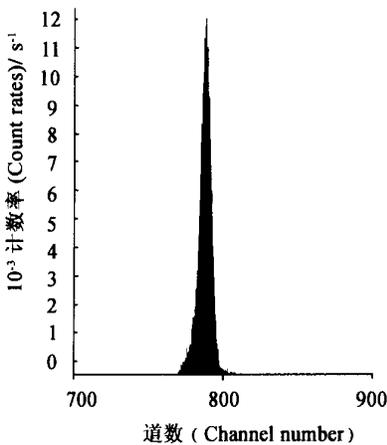


图 2  $^{241}\text{Am}$  计数与道数的关系  
( $R_t = 1.1 \text{ ns}$ )

Fig 2 Correlation between  $^{241}\text{Am}$  counts and channel number  
( $R_t = 1.1 \text{ ns}$ )

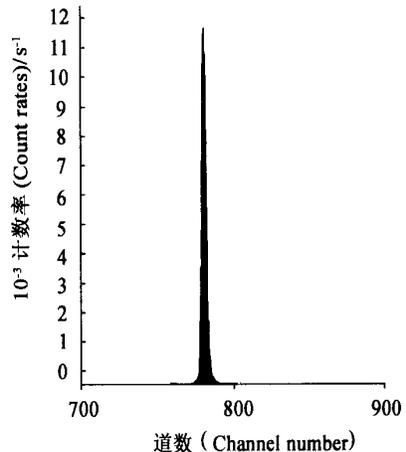


图 3  $^{241}\text{Am}$  计数与道数的关系  
( $R_t = 658 \text{ ps}$ )

Fig 3 Correlation between  $^{241}\text{Am}$  counts and channel number  
( $R_t = 658 \text{ ps}$ )

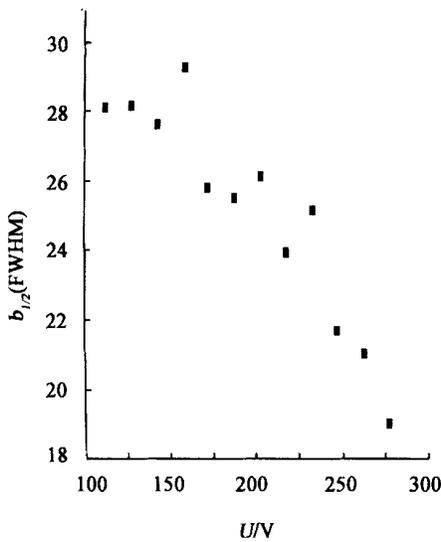


图 4 半峰高宽(FWHM)与偏压的关系

Fig 4 Correlation between full wide half maximum (FWHM) and bias-voltage

AM S 测量中, 采用 AgCl 为样品材料 ( $^{36}\text{Cl}$  含量为  $10^{-12}$  量级), 选取的离子能量为 20 MeV, 碳膜的厚度为  $20 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。由于 GF-TOF 对同量异位素的分辨能力取决于它的时间分辨本领, 而时间分辨仅来源于定时探测器电流脉冲上升时间的快慢和离子在介质中的能量离散, 因此要提高同量异位素的分辨能力, 可以通过增加离子的

能量以及合理的选择气体和飞行距离来达到这一目的。我们准备用 AM S 来测量  $^{36}\text{Cl}$ , 来给出  $^{36}\text{Cl}$  和  $^{36}\text{S}$  的质量分辨, 并且在同等条件下作 E-E 测量, 从而对 GF-TOF 与 E-E 比较进行分析。已有实验<sup>[6]</sup>表明 GF-TOF 对同量异位素的分辨本领好于 E 探测器, 而且还可以进行质量鉴别。关于 AM S 测量这一部分的实验正在进行当中, 我们将在另文报告有关结果。

#### 参考文献:

- [1] Bwnnett CI, Beuken RP, Clover MR, et al Radiocarbon Dating Using Electrostatic Accelerator [J]. Science, 1977, 198: 508~ 509
- [2] Nelson DE, Korteling RG, Stott WR. Carbon-14 Direct Detection at Natural Concentration [J]. Science, 1977, 198: 507~ 509
- [3] Nadeau MJ, Litherland AE. Electric Dissociation of Negative Ions [J]. Nucl Instr Meth, 1990, B52: 387~ 390
- [4] 何明. 加速器质谱学中的入射离子 X 射线方法及其应用 [D]. 北京: 中国原子能科学研究院, 2001.
- [5] 郭刚.  $^{64}\text{Cu}$  离线放射性束的产生及测定 [D]. 北京: 中国原子能科学研究院, 2001.
- [6] 姜山, 何明, 蒋松生, 等. 一台用于加速器质谱测量的充气时间探测器 [J]. 核技术, 2000, 23 (10): 718~ 720

## Study on the Measurement Method of Gas-Filled Time-of-Flight by AM S

GUAN Yong-jing<sup>1,2</sup>, RUAN Xiang-dong<sup>2</sup>, ZHENG Yuan-feng<sup>1,2</sup>, DONG Ke-jun<sup>1</sup>,  
WU Shao-yong<sup>1</sup>, HEM ing<sup>1</sup>, JIANG Shan<sup>1</sup>

(1. China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China;

2 Department of Physics, Guangxi University, Nanning 530004, China)

**Abstract:** In order to improve the power of isobaric identification in the accelerator mass spectrometric measurements, a new gas detector called gas-filled time-of-flight spectrometric detector has been set up. The principle, construction and method of the  $^{241}\text{Am}$  test were researched. Through increasing the energy of ions, selecting suitable gas and distance of flight, it can improve the absolute of GF-TOF to detect the isobars.

**Key words:** mass spectrometry; method of measurement by gas-filled time-of-flight detector; accelerator mass spectrometer (AM S); isobar