

低气压双维位置灵敏多丝正比室的研制*

张保国¹⁾ 文万信 魏志勇

(苏州大学放射医学与公共卫生学院 苏州 215007)

张金霞 风莹 谭继廉 靳根明 肖志刚 王宏伟

吴和宇 李祖玉 王素芳 胡荣江

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 描述了为在放射性束流线上开展核反应研究而研制的灵敏面积为 $50\text{mm} \times 50\text{mm}$ 的双维位置灵敏的低气压多丝正比室. 研制的低气压多丝正比室为穿透式, 在真空中使用, 工作气压为 8mb , 透射性好, 不干扰束流. 放射源测试结果表明, 它的 x, y 方向的位置双径迹分辨为 1mm . 用放射性束流在束测试结果表明, 对 $30\text{--}40\text{MeV}$ 的低 Z 放射性束的探测效率大于 80% , 适用于中能次级束实验中入射束的定位和反应中产生的带电粒子出射角度的测量.

关键词 低气压多丝正比室 位置分辨 延迟线读出 位置探测效率

1 引言

近二十年来, 随着加速器技术的快速发展, 世界上各个实验室的放射性束流线相继投入使用. 目前, 放射性束流线可以提供许多靠近滴线的丰中子、丰质子束流, 使得人们有可能用放射性核束对远离 β 稳定线核的结构、性质和反应进行研究. 放射性束核物理已经成为目前核物理研究的一个重要领域, 而核反应特别是直接反应(如弹性散射、转移反应、弹核碎裂反应等)一直是研究核结构的最重要的手段. 目前产生中能放射性束流的方法主要是弹核碎裂法, 此法得到的放射性核束的能量和入射方向的发散度都很大、束流的斑点大、束流较弱, 因此用放射性核束进行核反应实验研究时, 不仅要准确知道每个入射粒子的能量, 还必须精确测定入射粒子的方向和位置.

用于放射性束流检测和定位的探测器必须满足以下性能要求: 对穿过的束流的能量和方向的影响可以忽略、能够在真空中工作、计数率高、位置分辨

好(好于 1mm); 在中能区(几十 MeV/u), 对于从 He 到更重的粒子都有较高的探测效率. 由于低气压气体探测器对束流的透明性好, 而且位置分辨和时间分辨都很好, 因此在束流定位和束流检测方面得到了广泛的应用. 目前应用最多的是工作在低气压的平行板雪崩室(PPAC)^[1,2], 但它存在明显的缺点, 即 Z 小于 6 的中能入射粒子在 PPAC 中产生的原初电离太少, PPAC 的气体放大倍数不足以将这样微弱的信号放大到可以测量的程度, 故 PPAC 不适合探测 Z 小于 6 的轻放射性束流.

在真空中工作的低气压的多丝正比室(LPMW-PC)^[3]能提供入射离子的位置信息, 并能做成较大的灵敏面积, 制作工艺较简单, 工作可靠, 可承受高计数率, 并且对 $A < 12$ 的高能轻核探测效率比较高. 因此, 我们选择它作为轻放射性束核反应实验中的测量入射粒子方向的探测器. 若用两个位置分辨达到 1mm 多丝正比室, 两者之间的距离为 50cm , 组成一个测量入射粒子方向的探测系统, 其角度分辨可以达到 0.3° , 完全可以满足实验的需要. 为了在兰

2003-04-17 收稿

* 国家自然科学基金(10275083)资助

1) E-mail: hgzhangbzhang@sohu.com

州重离子加速器放射性束流线上开展轻放射性核束引起的核反应机制研究,我们研制了 4 个高位置分辨的二维灵敏多丝正比室. 本文报道了该多丝正比室的结构和测试结果.

2 结构及其特点

我们研制的低气压多丝正比室(LPMWPC)是在过去研制的二维位置灵敏的平行板雪崩室的基础上设计的^[2],它的结构如图 1 所示,采用穿透式结构,由阳极 X、阴极 C 和阳极 Y 3 个电极面及两个窗平

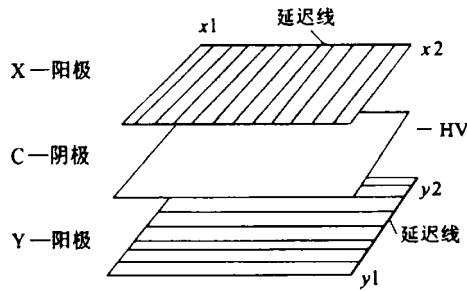


图 1 低气压多丝正比室结构示意图

行排列组成. 阴极由张紧在一个环氧纤维框架上的厚 $1.5\mu\text{m}$ 的 Mylar 薄膜构成,薄膜上镀有厚度为 $30\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 的金层. 阳极 X, Y 均由间距为 0.5mm , 丝径为 $10\mu\text{m}$ 的镀金钨丝均匀排布而成的丝平面,每两根丝焊在一起,相当每组丝的间距为 1mm ,两个阳极面的丝互相垂直排布,两极面与阴极间距均为 4mm . 两个窗都用敷铜板制成的框架,其尺寸与阳极框架完全相同,无数铜层的一面密封张紧厚 $6\mu\text{m}$ 的 Mylar 薄膜,在敷铜层的一面布有支撑丝,以支撑 MWPC 在工作气压下的张力. 多丝正比室的灵敏面积为 $50\text{mm} \times 50\text{mm}$. 阳极信号的读出采用延迟线读出法,每组阳极丝之间用 60cm 长的 lemo 射频电缆连接,最后从两端引出位置信号 $x1(y1)$, $x2(y2)$, 分别用 ORTEC FTA810a 放大,作为两路位置信号. 从阴极引出时间(t)信号,高压通过 $10\text{M}\Omega$ 的限流电阻与阴极相接,在阴极上加负电压. 工作气体为正庚烷,工作气压 $6\text{--}10\text{mb}$. 阴极信号引出后经 ORTEC FTA810b 放大后引出作为时间信号.

3 工作原理

3.1 气体放大原理

低气压多丝正比室的阳极和阴极产生均匀的平

行电场,并且工作气压很低,一般为几个 mb,这样极板间的约化场强很高. 在平行电场区,飘向阳极的电子在一个自由程内获得的能量就足以使其与其发生碰撞的气体分子发生电离释放出一个次级电子. 同样,产生的次级电子又进一步产生新的次级电子,于是形成电子的雪崩增殖,在整个漂移路径上产生雪崩放大,这个过程与 PPAC 的气体倍增过程是相似的. 当上述过程产生的电子漂移到阳极附近时,电场按 $1/r$ 规律变化,阳极丝的半径越小,可以达到的电场强度越大,这样电子在阳极丝附近再次产生雪崩增殖,出现第二次雪崩放大. 低气压多丝正比室的特点就是存在了两步气体放大过程,有很高的气体倍增系数,有利于对有少量原初电离的粒子的探测,因而对低 Z 粒子的探测效率明显地比 PPAC 高. 并且阳极和阴极平面的间距很小,可以对离子对进行快速收集,因此,探测器的时间性能好,计数率高.

3.2 位置信号读出方法

我们设计的 LPMWPC 使用两个阳极丝平面测量位置. 当入射粒子穿过 LPMWPC 时,每个阳极平面上只有距入射粒子径迹最近的那根丝上感应出负信号,其他丝及阴极上感应信号均为正信号. 因此,我们设计的低气压多丝正比室的结构适合于用逐丝读出法和延迟线读出法读出位置信号. 我们选择延迟线读出法读出位置信号,使用快时间放大器只放大负信号. 由于相邻丝之间信号的延迟时间是固定的,入射粒子在探测器中产生的感应信号沿延迟线向两端传输,测量信号到达两端点的时间差,即可确定哪根丝上有感应信号,从而确定入射粒子的位置. 这种读出方法的优点是:制作简便、使用电子学仪器少,探测器的时间分辨率好,位置分辨率由时间分辨率决定,因此位置分辨率好. 入射粒子的双径迹分辨由阳极丝的间距决定,并可以通过增加延迟线的长度来保证所需要的分辨率,只要在制作工艺上可以做到,还可以减小阳极丝的间距,提高双径迹分辨. 由于入射粒子在低气压多丝正比室上任何一点产生的信号到达阳极丝两端所需时间之和为常数, $x(y)$ 方向上只要一端可以读出位置信号,即可确定入射粒子的位置,因此位置探测效率很高. 与另外一种常用的电阻串读出法^[4,5]相比,这一读出法工艺简单,抗干扰能力强,计数率更高,位置刻度更方便,不需要使用准直孔.

4 放射源和放射性束在束测试

使用²³⁹Pu α 源对我们制作的低气压多丝正比室进行了测试. 把多丝正比室置于真空室的真空环境中, 然后通过气路控制系统给低气压多丝正比室供气, 工作气体为正庚烷, 测试条件为工作气压 800Pa, 工作电压 720V. 使用从阴极引出的时间信号 t 作获取系统的触发信号, 用 TDC 记录 x 方向的 2 个位置信号 x1, x2 和 y 方向的 2 个位置信号 y1, y2 以及时间信号 t, 从 x1 和 x2 信号的时间差确定入射粒子 x 方向的位置, 从 y1 和 y2 信号的时间差确定入射粒子 y 方向的位置. 测试结果如图 2 所示.

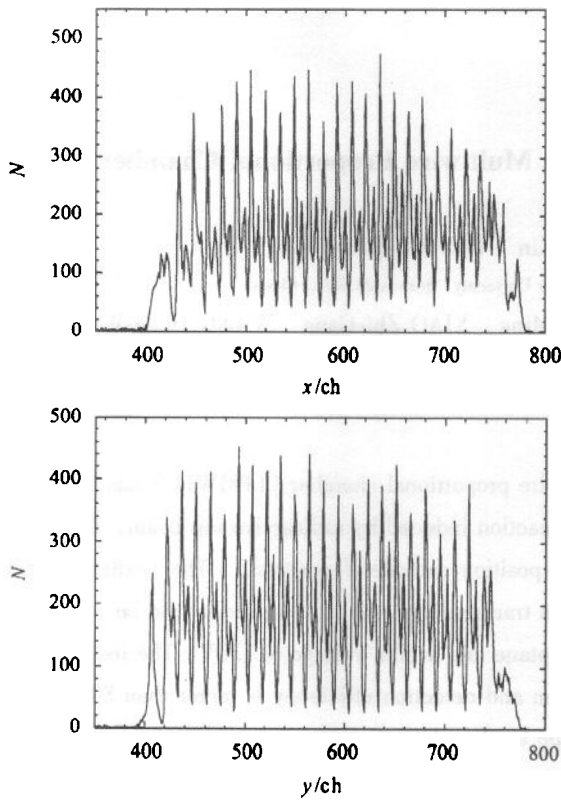


图 2 多丝正比室位置谱

从图 2 上可以看出, x 和 y 方向位置谱各有 50 个峰, 即每个峰与 X(Y) 极的一组丝对应, 测量位置分辨完全由一组丝对应的区域决定, 由此可以得出多丝正比室的位置双径迹分辨为 $\Delta x = \Delta y = 1\text{mm}$, 达到了我们的设计要求. 从探测器的信号取出模式看, 可以预期对于其他能量较高的入射粒子, 只要其产生的信号大于噪声等干扰信号, 可以取出位置信号, 位置分辨应当与 α 粒子的结果相同.

在束测试是在兰州近代物理所的重粒子加速器 (HIRFL) 放射性束流线 (RIBLL) 上完成的, 由 HIRFL

加速到 60MeV/u ¹³C 初级束轰击 6mm 厚 ⁹Be 靶, 碎裂产物经 RIBLL 分离纯化得到 33.5MeV/u 的 ¹¹Be 束流, 入射到 280μm 厚的面垒型 Si (Au) 探测器上, 该探测器既作为靶同时又是入射粒子能量损失 ΔE 探测器, 与 RIBLL 上飞行时间探测器一起探测和鉴别入射粒子. 实验中使用了 3 个低气压多丝正比室, 其中两个安放在靶前对入射束流进行测量, 给出入射束流在靶上的位置和入射角度, 另一个安装在靶后, 一套 7 单元 Φ45 的半导体望远镜系统前, 测量 ¹¹Be 碎裂产物的出射角度, 半导体望远镜系统用于测量出射产物的能量. 探测器布局如图 3 所示.

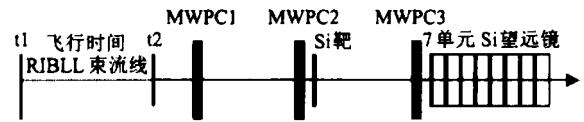


图 3 实验装置示意图

实验中 3 个气体探测器的工作气体为正庚烷, 工作气压为 800Pa, 工作电压为 720V. 对于一个人射粒子只有靶前的两个多丝正比室同时给出了位置信号才能确定粒子的入射角度和在靶上的位置. 因此, 多丝正比室对各种入射粒子的探测效率是一个重要的参数. 由于低气压多丝正比室的工作气压很低, 入射粒子在探测器内损失能量很少, 不会阻止在气体探测器内. 因此, 探测效率主要取决于粒子穿过探测器时, 探测器能否给出定位信号. 确定探测器的效率, 首先要确定穿过气体探测器的粒子数, 从图 3 可以看出, MWPC2 安装在靠近靶, 而 MWPC3 则就在多单元望远镜前面, 可以利用这些半导体探测器确定穿过低气压多丝正比室的粒子数. 低气压多丝正比室的探测效率 $\epsilon = N_{\text{LPMWPC}}/N_{\text{Si}}$, 其中 N_{Si} 为半导体探测器测量的入射粒子数, N_{LPMWPC} 为气体探测器可以同时给出位置信号的粒子总数. 不同的入射粒子, 探测效率不同. 入射束的鉴别通过入射粒子在 RIBLL 的 t1-t2 飞行时间 (TOF) 和在靶探测器中的能量损失 (ΔE) 给出. 打在次级反应靶上的粒子不仅有 33.5MeV/u ¹¹Be, 还有 41.6 MeV/u 的 ¹⁰Be, 28.5MeV/u 的 ⁹Li, 37.2MeV/u 的 ⁸Li 和 49.6MeV/u 的 ⁷Li. 用上述方法可以得出这些粒子的探测效率分别为 > 99% (¹¹Be), > 99% (¹⁰Be), 92.4% ± 1.5% (⁹Li), 88.2% ± 3.5% (⁸Li) 和 (83.9% ± 3.5%) ⁷Li.

由此可见我们研制的 LPMWPC 对于能量约 30—40MeV/u 的 Li 的探测效率可达 85%, 而对 Be 以上的粒子的探测效率接近 100%. 并且探测器的

工作气压还可以加大,工作电压还可以提高,因此,改变工作条件探测器对 Li 等轻的粒子的探测效率还可以提高.

5 结论

本文详细描述了新设计制作的低气压多丝正比室的结构和原理,它结合了 PPAC 和 MWPC 的特点,

有着两步气体放大过程,可用于探测原初电离很小的人射粒子,放射源测试表明,该低气压多丝正比室的双径迹位置分辨可达到 1mm,放射性束测试结果表明它对 30—40MeV/u 的低 Z 的放射性束有很高的探测效率. 因此,低气压多丝正比室适用于中低能的各种带电粒子的定位和在线监测,同时也可以用于测量核反应中出射产物的出射角度的测量.

参考文献 (References)

- 1 TAN Ji-Lian et al. Nuclear Electronics and Detection Technology, 1996, 16: 1(in Chinese)
(谭继廉等. 核电子学与探测技术, 1996, 16: 1)
- 2 LU Zhao-Hui et al. Nuclear Electronics and Detection Technology, 2001, 21: 94(in Chinese)
(卢朝晖等. 核电子学与探测技术, 2001, 21: 94)
- 3 Ottini-Hustache S et al. Nucl. Instr. Meth., 1999, A431: 476
- 4 Becker H et al. Nucl. Instr. Meth., 1971, 95: 525
- 5 de Moura M et al. Nucl. Instr. and Meth., 1999, A433: 623

Development of Low Pressure Position Sensitive Multiwire Proportional Chamber*

ZHANG Bao-Guo¹⁾ WEN Wan-Xin WEI Zhi-Yong

(School of Radiation Medicine and Public Health, Suzhou University, Suzhou 215007, China)

ZHANG Jin-Xia FENG Ying TAN Ji-Lian JIN Gen-Ming XIAO Zhi-Gang WANG Hong-Wei

WU He-Yu LI Zu-Yu WANG Su-Fang HU Rong-Jiang

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

Abstract A low pressure two dimensional position sensitive multiwire proportional chamber (LPMWPC) has been developed for measurements of low Z charged particles from the nuclear reaction induced by radioactive ion beam. The detector has a 50mm × 50mm sensitive area and consists of three grids (X-position cathode Y-position). The position is determined through delay line readout mode. The detector has good beam transparency and is also adequate to be used in vacuum. The LPMWPC has been tested at a pressure of 800Pa of n-heptane and a bias Voltage of 720V. The test results indicate that the position resolution of the chamber is $\Delta x = \Delta y = 1\text{mm}$ and detection efficiency is larger than 80% for the low Z particle at intermediate energies. This kind of chamber has be used to determine the direction of the incident particle.

Key words low pressure multiwire proportional chamber, position resolution, delay line readout mode, position determination efficiency

Received 17 April 2003

* Supported by National Natural Science Foundation of China (10275083)

1) E-mail: bgzhanggzhang@sohu.com