

用于飞行时间测量的大面积 平行板雪崩探测器

詹文龙 张震 沈文庆 诸永泰 冯恩普

(中国科学院近代物理研究所, 兰州)

摘 要

本文描述了一台灵敏面积为 $70 \times 140 \text{ mm}^2$ 的一维位置灵敏的平行板雪崩探测器 (PSPP) 和一台灵敏面积为 $60 \times 400 \text{ mm}^2$ 的大面积平行板雪崩探测器 (PPAC) 的工作原理、构造和测试结果, 及由这两个探测器构成的大立体角飞行时间测量装置。

一、引 言

十多年来重离子核物理研究向着细致、深入的方向发展, 要求实验上尽可能测到更多的物理量(如: 速度、能量、电荷、质量和多重性等)。另一方面随着轰击能量的增高, 反应的出射道数目相应增加, 而每一反应道的反应截面又较低, 这就使得符合测量的效率较低, 因此需要大立体角的探测设备。由于气体探测器便于制做, 在测重离子时相应的原始电离数目增大, 对辐射损伤不敏感, 目前在一些新技术中, 广泛应用具有良好时间分辨性能的大立体角位置灵敏气体探测系统。通常这种系统综合了 $\Delta E-E$ 粒子鉴别和飞行时间技术, 用大面积雪崩室测反应产物的飞行时间 t , 用大面积位置灵敏电离室测 ΔE 、 E 、 X 和 Y 。如西德的 GSI^[1], Heidelberg^[2], 法国的 GANIL, 美国的 Berkeley 等实验室都建立了这种测量系统, 因此给我们的大电离室^[3]配上大面积时间测量装置是非常必要的。针对在大面积探测器中, 不同位置的电讯号经过复杂传输, 其传送时间相差较大, 使得所探测到的时间分辨变差^[1,2], 本工作着重考虑 PPAC 上讯号传输时间与不同位置的关系, 采用位置灵敏雪崩室定起始时间, 测量了 PPAC 讯号传输时间与位置的关系后进行时间测量修正。最后还讨论了大面积时间探测系统在反应能量较高时, 适当地延长飞行距离以提高飞行时间测量精度的可能性。

二、PPAC 与 PSPP 的工作原理

一般的雪崩室 (PPAC) 是由两块平行的镀有金属电极的 MYLAR 膜, 膜中间充有气

压为 P 的易于电离的工作气体组成。在两极加上电压；即在两电极内隙产生约化场强 E/P ，电场达到一定强度后便会产生次级电子，最后形成雪崩^[4]。次级电子数目为：

$$n(l) = n_0 e^{\alpha l}, \quad (1)$$

其中 n_0 是原初级电子数目； l 是漂移长度（平行于电场方向）； α 是第一级 Townsend 电离系数，表示原位漂移长度内平均电离几率，它是约化场强 E/P 的函数：

$$\alpha/P = A \exp[-B/(E/P)],$$

A 和 B 对给定的气体为常数。由 (1) 式可导出气体放大因子 $\mu = n/n_0 = e^{\alpha(l-l_0)}$ ，可见 μ 不仅对 α 非常灵敏，而且受原初级电子漂移距离影响，即信号主要来自阴极附近的原初级电子的贡献。因此工作条件的选择要考虑到快的电子漂移速度及低平均电离能的工作气体（本工作气体采用正庚烷），约化场强 $E/P \approx 450 \text{V/cm} \cdot \text{tor}$ 。

位置坐标有几种不同的时间位置读出方法。本工作中灵敏面积为 $70 \times 140 \text{mm}^2$ 的雪崩室 (PSPP) 是一维位置灵敏的 PPAC，其位置读出采用阴极延迟线耦合读出法。本工作中 PSPP 用高频讯号电缆作延迟线，每两根之间的延迟时间为 2ns 。位置讯号可用丝极一端引出的讯号与阳极讯号之间的延迟时间来确定，也可用丝极两端引出的讯号延迟时间来确定。由于讯号在延迟线传播时，延迟线对不同频率讯号的传递速度不同而引起“色散”，使讯号脉冲上升时间变大，幅度变小和分布变宽，因此当讯号输出幅度较小，且丝较短时采用前一种引出方式。但如果 PSPP 在丝的方向较长，在同一丝上的不同位置讯号传递时间差就比较明显了，所以当输出幅度大，且信噪比较好时采用后一种引出方式为好。

三、PPAC 与 PSPP 的构造和实验装置

这套大面积飞行时间探测装置由作为起始时间的一维位置灵敏雪崩室

$$\text{PSPP}(70 \times 140 \text{mm}^2)$$

和作为终止时间的 PPAC ($60 \times 400 \text{mm}^2$) 组成。PPAC 和 PSPP 的电极均由绷在环氧聚酯树脂框架上镀金 ($\sim 50 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) 的 $1.5 \mu\text{m}$ MYLAR 膜 ($220 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) 制成。PPAC 间隙为 2mm ，PSPP 间隙为 4mm ，PSPP 的丝极用 $20 \mu\text{m}$ 的镀钨丝在厚 1.5mm 的印刷电路板上胶焊而成，丝距是 2mm ，两丝间用 50Ω 的讯号电缆作延迟线连接，每节延迟 2ns ，共 70 节。讯号延迟 1ns 相应于位置相差 1mm 。PSPP 的丝极置于两极正中间，间隙均为 2mm 。

PPAC 和 PSPP 均置于窗为 $1.5 \mu\text{m}$ 的 MYLAR 膜室内，讯号输出阻抗均为 50Ω 。PPAC 的工作电压范围为 $500-700 \text{V}$ ，本工作取 630V ，相应 $E/P \approx 450 \text{V}/\text{cm} \cdot \text{tor}$ ，PSPP 的工作电压为 $650-900 \text{V}$ ，本工作取 840V ， $E/P \approx 300 \text{V}/\text{cm} \cdot \text{tor}$ ，丝极电压为阳极和阴极的一半。

气体稳定系统由 BALZERS^[5] 的电磁阀和相应的低气压探测器，及一控制单元构成的自动控制组件组成，稳定精度 $< 0.1 \text{mb}$ 。整套大面积飞行时间探测装置的工作气压在 $3-12 \text{mb}$ 内，对较轻入射粒子采用较高工作气压，本工作取气压为 9mb 。

另外在 $1.5 \mu\text{m}$ 的 MYLAR 膜上镀金时，由于真空蒸金方法产生的热辐射较严重，易引起环境温度升高，使绷紧的 MYLAR 膜损坏，因此本工作采用等离子溅射技术。用此方

法镀金
一负
极上
入 TA
在
出③、
④路
时间
栅，分
Y路
是固定
<1mr

1
固定在
图 2 册
此相近
如进一
2.
引起讯
出讯号
TAC 率

强

(1)

电

见 μ

初级

作气

r^2 的

本

用丝

延迟

引起

、且

位置

方式

氧聚

隙为

路板

共 70

mm.

50 Ω .

PSPP

和阴

成的

三一

、易

此方

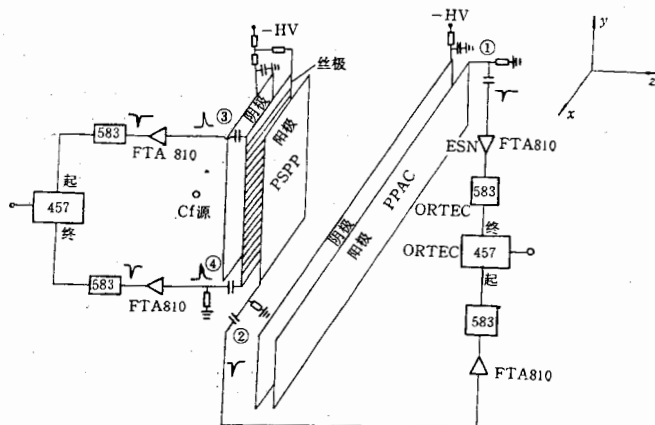


图 1 探测器结构和实验装置示意图

法镀金不仅能降低环境温度,而且能降低无油真空的要求,也减少了金的消耗。

实验装置见图 1 所示。当入射粒子(如 6MeV α 粒子)经准直后穿过 PSPP, 阳极得到一负脉冲②, 上升时间约 2.5ns, 幅度达 3V, 信噪比大于 70。 α 粒子继续穿过 PPAC, 阳极上得到一负脉冲①, 上升时间约 2ns, 幅度为 0.8V, 信噪比大于 60。 ①, ②两路讯号进入 TAC 进行时幅转换。

在 PSPP 阳极上产生讯号的同时, PSPP 丝极上感应出一个正脉冲, 从丝极两端可引出③、④两路讯号, 上升时间约 3ns, 在 Y 方向的正中间, 其信噪比为 15。 位置讯号由③、④路进入 TAC 进行时幅转换, 或③、④路分别与②路进行时幅转换得到。 在测量 PPAC 时间与位置关系时, 由于 PSPP 只在 Y 方向灵敏, 因此在 PPAC 前固定一个具有 X 方向的栅, 分别记录放射源对准 X 方向光栅后不同间隙时测得的谱。 对某一 X 位置测得的谱, 在 Y 路上加窗就可读出 PPAC 某一单元 (X_i, Y_i) 的时间分辨和讯号的漂移时间。 由于 X 栅是固定在 PPAC 前面, 且 PSPP 在 Y 方面固定, 因此整个探测过程中的几何位置偏差 $< 1\text{mm}$ 。

四、测试结果

1. 时间分辨 实验中将放射源准直到发散角 ($\leq 5^\circ$), 在 PSPP 上的斑点为 3mm, 且固定在 PSPP 和 PPAC 的中心。 测到这套装置 (PSPP + PPAC) 的时间分辨约 350ps (如图 2 所示)。 当 PSPP 与 PPAC 分别用金硅面垒探测器作终止时间时, 测到的时间分辨与此相近。 如认为 PPAC 与 PSPP 的时间分辨相等, 那么每个探测器的时间分辨 ≤ 250 ps。 如进一步考虑电子学和其它因素的影响, PPAC 的本征时间分辨 ≤ 220 ps。

2. PSPP 的位置分辨 因 α 粒子产生的原初级电子较少, 且 PSPP 有较大的漂移距离, 引起讯号的涨落较大, 相应的感应讯号在延迟线中的“色散”影响较明显。 因此使丝极输出讯号的幅度和信噪比随延迟线长度的增加而显著下降。 据二、三节所述, 采用②、③路 TAC 转换的位置讯号效果更好, 如图 3 所示, 位置分辨 $\cong 1$ mm。

图4中显示了PPAC室所测到的时间分辨,在图4(a)中,整个PPAC的时间分辨约1.2ns. 在X方向上加窗得到图4(b),相应的时间分辨减少到约720ps. 进一步在Y方向加窗得到图4(c)的时间谱,时间分辨为400ps. 这样对于 $\Delta X \cdot \Delta Y \approx 5 \times 5 \text{mm}^2$ 的局部区域,其时间分辨接近于图2显示的结果.

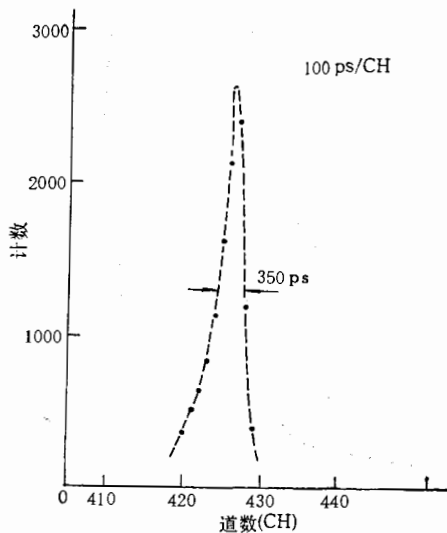


图2 PSPP + PPAC 的时间分辨谱

图5显示了在PPAC取出的时间讯号在X-Y平面上的等高图. 在图5中虽然可看到时间讯号在靠近电极的引出端较小,随着远离电极引出端逐渐增大的趋势,但其变化率是相当不规则的,在PPAC的边缘处这种现象更为复杂,显然把讯号传播速度做为常数是错误的. 由于镀的金属厚度不匀,两电极间隙因静电吸引力或框架不平行程度随位置的变化都可引起时间讯号的变化. 对于不同的电极和不同的安装或不同的工作条件这张等高图都会引起变化.

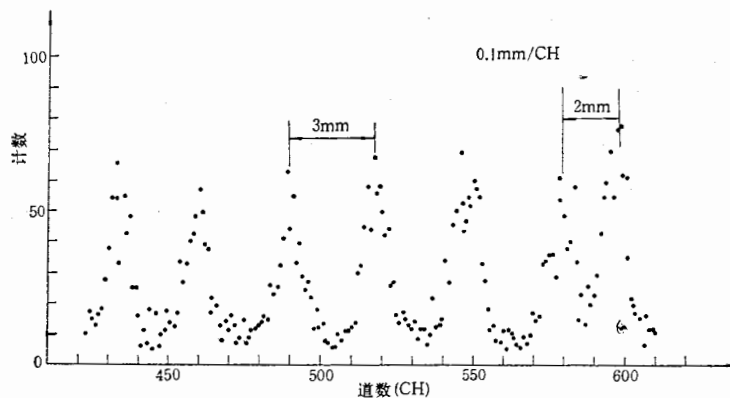


图3 PSPP 的位置分辨谱

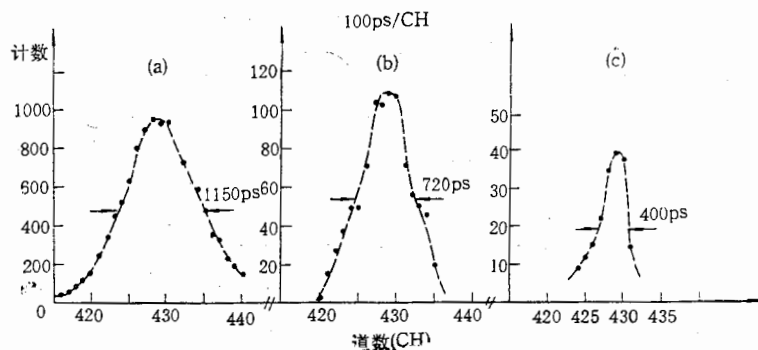


图4 不同探测面积下,PPAC的时间谱

(a) 整个PPAC($60 \times 400 \text{mm}^2$)的时间谱; (b) 探测面积为 $50 \times 5 \text{mm}^2$ 的时间谱; (c) 探测面积为 $5 \times 5 \text{mm}^2$ 的时间谱

正,才

实际上E
由于2
子要比
的性能
探测精
度

把它类
对一
 $v, P,$
离靶由
辨可程
物(实
3倍.
角,且
探测角
度
(FL) -
行反压
谱. 用
于任

分辨率约
相应的
Y 方向加
400ps. 这
区域, 其

讯号在
可看到时
着远离电
率是相当
象更为复
对的. 由
静电吸引
可引起时
间的安装
起变化.

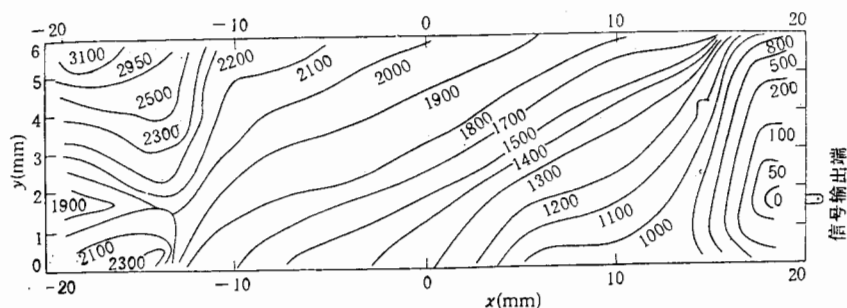


图 5 PPAC 中取出的时间讯号在 X-Y 平面上的等高图

上述讨论的时间讯号随位置的变化表明, 必须对 PPAC 所测到的时间谱进行位置修正, 才能得到正确时间分辨.

五、讨 论

测试结果表明 PPAC 的本征时间分辨 ≈ 220 ps, 和小面积 PPAC 的性能指标相近, 实际上由于 PPAC 中不同位置的时间讯号不同, 因此对 PPAC 所测时间谱必须进行修正. 由于本工作中的放射源是 1.5MeV/A 的 α 粒子, 而在今后实验中, 所测到的大多数入射粒子要比 α 粒子重, 于是在 PPAC 中能损的增加使得产生的原初级电子数增加, 相应 PPAC 的性能指标会变好. 另外采用较薄 ($0.4 \sim 0.8\mu$) 的 Mylar 膜作入射窗和电极也会减少探测粒子能量的分散, 从而使性能指标得到改善.

这套 (PSPP + PPAC) 飞行时间测量装置的位置分辨 $\Delta Y = 1\text{mm}$, 时间分辨

$$\Delta t \approx 350\text{ps},$$

把它装在大面积位置灵敏电离室^[1]前就构成一套比较完善的大立体角实验设备, 由此可对一个反应事件同时测到 $\Delta E_1, \Delta E_2, \Delta E_3, \Delta E_R, X, Y, t$ 参数, 相应地能得到物理量 $E, v, P, A, E, \theta, \varphi$. 假如在实验中把 PSPP 置于离开靶子 20 cm 的地方, 把 PPAC 置于远离靶的不同距离来改变飞行距离 d , 由表 1 可见, 当 d 由 100 cm 增大到 400 cm, 质量分辨可得到较大的改善. 在粒子能量不高时, $\Delta A/A$ 主要是受到 $\Delta E/E$ 的影响, 对高能产物(实际上电离室相应的 $\Delta E/E$ 变好), $d = 400\text{cm}$ 时的 $\Delta A/A$ 是 $d = 100\text{cm}$ 时的 2.5—3 倍. 采用这样的安排, 虽然探测角 $\Delta\theta$ 由 19° 减少到 5.4° , 仍然还是具有比较大的探测角, 且具有同一些较好的飞行时间探测器相近的性能指标, 但这些性能指标好的探测器的探测角通常是很小的.

这套探测设备是中国科学院近代物理研究所正在建造的大型重离子研究装置 (HIR-FL) 上的大电离室实验终端的组成部分^[6]. 用这套探测设备在重离子核物理实验中可进行反应产物的单举测量, 可得到在质心系中连续的角分布、电荷和质量分布及能谱速度谱. 它与其它探测器或电离室下半部组合后还可进行二体或多体反应中的符合测量, 适用于低能和中能重离子核反应的研究工作.

表 1 不同条件下飞行距离 d 与 $\Delta A/A$ 的关系

$A/\Delta A$ $E(\text{MeV})$		$\Delta E/E = 1\%$		$\Delta E/E = 2\%$		
		$d(\text{cm})$ 100 ($\Delta\theta \approx 19^\circ$)	$d(\text{cm})$ 400 ($\Delta\theta \approx 5.4^\circ$)	$A/\Delta A$ $E(\text{MeV})$ $d(\text{cm})$	100	400
5		33	64	5	24	39
10		24	56	10	20	36
15		20	51	15	17	34
30		15	42	30	13	30
50		12	36	50	11	26

注: 取 $\Delta t = 350\text{ps}$.

参 考 文 献

- [1] U. Lynen, M. Stelzer, A. Gobbi, H. Sann, A. Olmi, *Nucl. Instr. and Meth.*, **133**(1976), 409.
 [2] J. Pochodzalla et al., *Nucl. Instr. and Meth.*, **234**(1985), 97.
 [3] 沈文庆等, 高能物理与核物理, **7**(1983), 500.
 [4] L. Loeb, *Basic Processes of Gaseous Electronics*, University of California Press, 1961.
 [5] BALZERS 公司的产品说明书.
 [6] 沈文庆等, 近物所内部资料.

LARGE AREA PARALLEL PLATE AVALANCHE COUNTER
FOR TIME-OF-FLIGHT MEASUREMENT

ZHAN WEN-LONG ZHANG ZHEN SHEN WEN-QING ZHU YONG-TAI FENG EN-PU

(Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou)

ABSTRACT

The construction, operation principle and performance of a parallel plate avalanche counter with an active area of $60 \times 400 \text{ mm}^2$ and another one with an active area of $70 \times 140 \text{ mm}^2$ and one dimensional position sensitivity are described in detail. It is discussed how to combine a large solid angle time-of-flight setup by using the two counters described above.

行
果

天
计核反
以前有
些工作,
液体闪
(能区关
位素¹⁸²
用 C_6F_6
ignier
面^[4].
推荐值:
义的.

钷:
区, 仅:
量.

本
天然钷
术降低
工作.

本