

Micromegas 探测器计数曲线、增益以及 能量分辨特性的研究

张小东^{1)†} 杨贺润²⁾ 段利敏¹⁾ 徐珊珊¹⁾ 胡碧涛²⁾ 李春艳¹⁾ 李祖玉¹⁾

1) 中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

2) 兰州大学核科学与技术学院 兰州 730000)

(2007 年 6 月 13 日收到, 2007 年 10 月 22 日收到修改稿)

介绍了自行研制的 Micromegas 探测器的基本结构和工作原理. 在不同工作气体(Ar 和 CO₂) 配比条件下, 利用 ⁵⁵Fe 放射源对该探测器的能量分辨、计数曲线和气体增益等特性进行了较为详尽的测试. 对相关结果进行了讨论.

关键词: Micromegas 探测器, 计数曲线, 能量分辨率, 增益

PACC: 2940H, 2940T

1. 引 言

气体探测器是历史上最早用于测量电离辐射的一类探测器, 在核物理和高能物理发展过程中具有很重要的地位. 早在约一个世纪前, 基于带电粒子穿过处于电场中的气体时会诱发气体放电这一物理过程, Geiger, Rutherford 和 Müller^[1,2] 发明了盖革-米勒计数器, 用以测量带电粒子. 虽然基于该种类型的气体探测器经历了约半个多世纪的发展和改进, 但直到 1968 年 Charpak 等^[3] 发明多丝正比室(MWPC)后, 气体探测器的发展才进入了位置灵敏时代. 在 20 世纪 80 年代后期, 伴随着微电子技术的发展, 开始出现了一类新型的微模式气体探测器(MPGD)^[4-6], 如微条气体室^[7]、Computeur Á Trou^[8]、微隙室^[9]、微点雪崩室^[10,11]、气体电子倍增器(GEM)^[12]、Micromegas (micro-mesh gaseous structure) 探测器^[13]等. 这些探测器各有所长且所提供的空间分辨较 MWPC 提高了一个多数量级, 虽然它们在结构上存在一定的差异, 但基本的工作原理都是一样的. 在 MPGD 研究中, Micromegas 和 GEM 由于具有优异的性能而备受关注. 为此, 在 2006 年 1 月 20 日欧洲核子研究中心(CERN) 举办的关于 MPGD 会议上专门就这两类探测器的发展状况和未来的应用前景进行了讨论并对以往的工作成就进行了综合评述.

目前, 我们研制的 Micromegas 探测器最早是由法国 Saclay 的 Dapnia^[13] 实验室在 1996 年开发研制的一种新型气体探测器. 它的结构十分简单, 由漂移极板(一般用镀铝聚酯膜或高透过率的金属网)、阳极板(即读出电极, 一般由印刷电路板刻蚀而成)和栅极板(一般采用高透过率的镍金属微孔薄膜)组成. 这三层极板把气体室分为不均衡的漂移区和放大区. 漂移区也称为转换区, 区间间距约为毫米量级, 电场强度一般为 10³ V/cm. 放大区也称为雪崩区, 区间间距一般在 50—100 μm 之间, 区间电场强度达到 10⁴ V/cm. 当入射粒子进入探测器的漂移区后, 由于能量损失会使工作气体发生电离, 其中电子在电场作用下沿电场向阳极漂移, 当电子穿过栅极网进入雪崩区后, 由于强电场的驱动使电子发生雪崩放大. 放大后的电子在运动过程中使读出电极上感应出电信号, 通过后端电子装置对该信号加以收集记录, 然后输出入射粒子的能量以及位置等信息. 这种探测器在 2002 年夏已成功装备于 CERN 的 COMPASS (common muon proton apparatus for structure and spectroscopy) 谱仪^[14], 其灵敏面积为 40 cm × 40 cm, 空间分辨为 65 μm, 时间分辨为 10 ns.

我们在 2006 年就已成功地研制出 Micromegas 探测器. 本文给出了最近组装的灵敏面积为 10 cm × 9 cm 的 Micromegas 探测器的计数曲线、能量分辨和增益等特性的测试结果以及相关讨论.

† E-mail: zhangxd@lzu.edu.cn

2. Micromegas 探测器的测试条件

实验用的 Micromegas 探测器的结构如图 1 所示. 漂移电极所用的是丝径为 $24\ \mu\text{m}$ 的 500 目不锈钢编织网; 栅极是利用 670 目的镍微网, 厚度为 $5\ \mu\text{m}$; 读出电极(阳极)由印刷电路板加工而成. 漂移区(漂移极和栅极间)的间隙为 3 mm, 栅极和阳极用直径为 $100\ \mu\text{m}$ 的鱼线作为空间间隔, 鱼线间距均匀并与阳极板的微条相互垂直. 漂移电极和栅极加直流负高压, 供电系统采用了 CAEN 公司的 SY527 高压系统. 收集信号所采用的外围电子装置是 ORTEC 公司的 142AH 型前放和 572 型主放等. 数据获取系统采用国际标准的 CAMAC 总线系统, 并用 KSC 公司的 KSC3929 作为 CAMAC 机箱控制器. 数据分析系统主要采用 CERN 的物理分析平台 PAW. 配气系统采用圣业公司的 SY9506 型四路混合配气仪, 为探测器室内提供比例恒定且均匀混合的工作气体(Ar 和 CO_2 , 纯度均为 99.999%). 由于实验室地理位置原因(兰州气压较低), 为了方便所采用的探测器内气压约为 87 kPa. 探测器的测试温度为室温. 在进行探测器计数曲线、能量分辨以及增益等性能测试过程中均采用 ^{55}Fe 放射源.

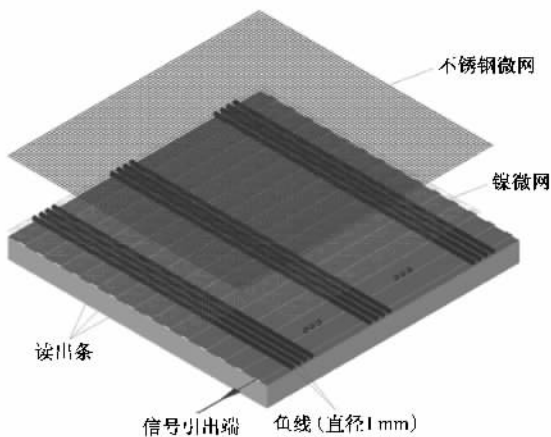


图 1 Micromegas 探测器结构示意图

3. 实验结果及讨论

3.1. 计数曲线

为更好地确定 Micromegas 探测器的工作状态以及最佳的工作区间, 对其进行了计数曲线的测量. 结

果如图 2 所示. 从图 2 可以看出: 当 CO_2 含量为 5% 时, 探测器计数曲线没有出现坪区, 在此条件下对其能谱进行了测试, 没有出现预期的 ^{55}Fe 能谱, 说明在此情况下探测器没有正常工作. 当 CO_2 含量不低于 7.5% 时, 计数曲线出现坪区, 且伴随着 CO_2 比例的增加计数曲线的坪长略有增长, 最大坪长约为 110 V. 这正说明猝灭性气体含量的增加, 能够降低探测器的“打火”概率, 从而可以延长其坪长, 进而会延长探测器的工作区间. 探测器计数曲线在坪长 100 V 的范围内坪斜低于 10%, 符合该探测器对坪斜的要求.

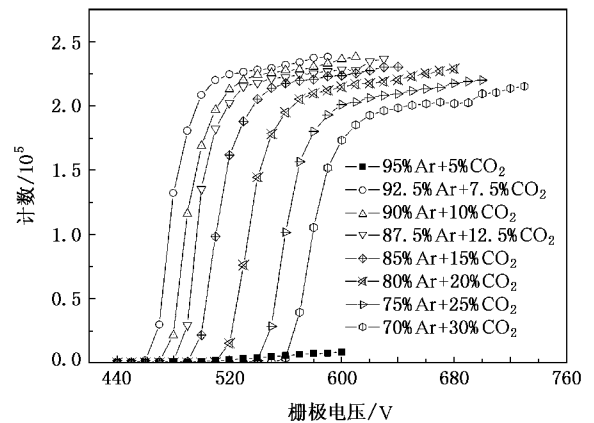


图 2 在 Ar 和 CO_2 不同比例的混合气体条件下探测器计数随栅极电压的变化

3.2. 能量分辨率

图 3 给出了 Micromegas 探测器以 90% Ar + 10% CO_2 的混合气体作为工作气体, 栅极电压为 590 V 条件下测得的 ^{55}Fe 放射源 5.9 keV 的 X 射线能谱. 从图 3 中可以看出, 5.9 keV 的 X 射线峰较为清晰地与 3 keV 的 Ar 逃逸峰分开, 此时探测器的能量分辨(峰的半高宽)约为 30%. 当前, 国际上该类探测器能量分辨的实验室最好水平为 11.8%^[15](对 5.9 keV 的 X 射线, 工作气体为 90% Ar + 10% C_4H_{10}). 该探测器之所以有如此好的能量分辨, 缘于其采用了完全刻蚀技术来制作栅极和读出电极间的间隔, 由此最大限度地保证了放大隙间隔的一致性. 除此之外, Kane 小组^[16]和 Giomataris^[13]给出的该类探测器能量分辨的测试结果分别为 14%(对 5.9 keV 的 X 射线, 工作气体为 90% Ar + 10% CH_4)和 40%(对 5.9 keV 的 X 射线, 工作气体为 90% Ar + 10% DME). 由于上述的测试结果不是在探测器结构加工工艺上与我们

的探测器有差异,便是采用的工作气体不同,很难直接由实验数据上判断探测器在能量分辨性能的好坏.真正与我们的探测器结构和工作气体完全相同,且测试条件基本相似的是 Cussonneau 小组^[17]的工作,其给出的能量分辨为 25%(对 5.9 keV 的 X 射线,工作气体为 74% Ar + 26% CO₂). 虽然我们没有测试该气体组分(74% Ar + 26% CO₂)下探测器的能量分辨,但我们有 75% Ar + 25% CO₂ 气体组分下的测试结果(图 4). 由图 4 可看出,在该工作气体条件下,探测器的能量分辨约为 51%,约是文献^[17]能量分辨的两倍.经分析,产生此结果的原因是由于我们的探测器放大隙的间距均匀性较差导致.实验发现,减小放射源光阑的尺寸可使能量分辨性能得到改善.对此,还需要开展进一步的工作,如加大栅极微网的张力和减小支撑丝的间距以提高间隙的一致性,以及不同种类猝灭气体(如 C₄H₁₀ 和 CH₄)对能量分辨的影响.

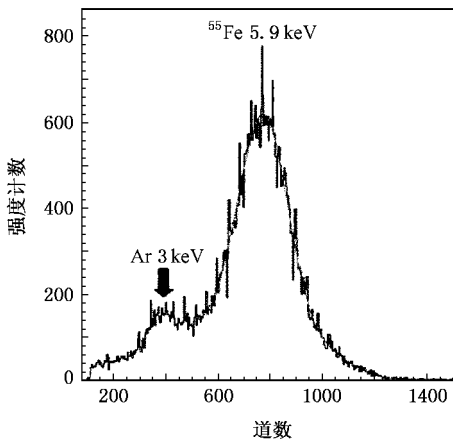


图 3 Micromegas 探测器测得的⁵⁵Fe 放射源 5.9 keV 的 X 射线能谱. 能量分辨为 30%, 对应增益为 3.5×10^3

图 4 给出了 Micromegas 探测器的能量分辨率随不同工作气体比例以及栅极电压的关系. 从图 4 可以看到:当 CO₂ 的含量为 10% 时,可得到能量分辨率的最佳值;当工作气体中 CO₂ 的含量低于 10% 时(即 7.5%),能量分辨变差,而当 CO₂ 含量在 10% 以上,CO₂ 比例越大能量分辨越差. 除此之外,在工作气体中 CO₂ 比例相同的情形下,能量分辨随栅极电压的变化曲线虽然有些涨落,但总的趋势是趋于一条平行于横轴的直线,可以粗略地认为栅极电压对能量分辨的影响相对较小.

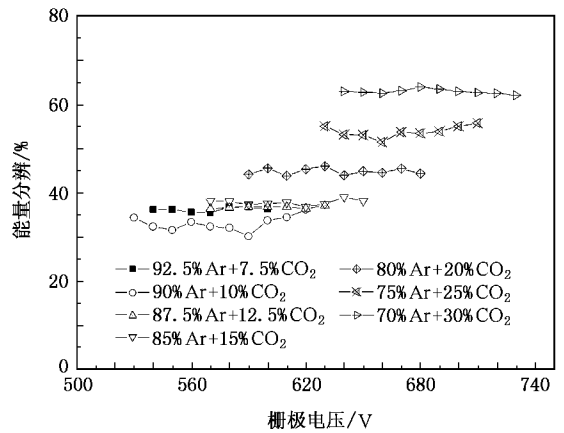


图 4 不同 Ar 和 CO₂ 工作气体比例下能量分辨与栅极电压的关系

3.3. 气体增益

气体平均放大倍数也就是气体增益,它决定输出信号幅度的大小.图 5 为利用⁵⁵Fe 放射源并在 Ar 和 CO₂ 不同比例情况下,保持漂移电压不变, Micromegas 探测器的增益与栅极电压的关系. 从图 5 可以看出,在气体 Ar 和 CO₂ 比例不变时,随着栅极电压的升高,探测器的增益也在变大. 在同一电压下,CO₂ 含量越低,其增益就越大. 这与文献^[13, 15]给出的结果是相符的.

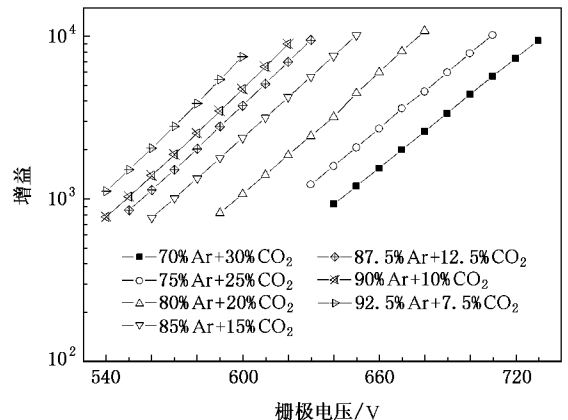


图 5 Micromegas 探测器在不同 Ar 和 CO₂ 工作气体比例下增益与栅极电压关系

4. 结 论

综上所述,我们已经得到有较好能量分辨和稳定气体增益的大面积(10 cm × 9 cm) Micromegas 探测

器. 该探测器的能量分辨受工作气体的比例影响较大. 在工作气体为 90% Ar + 10% CO₂ 时, 探测器的能量分辨最好. 相比之下, 受栅极电压的影响较小, 即

随栅极电压的增大, 能量分辨变化较小. 气体增益随栅极电压的增加而增大, 随二氧化碳含量的增加而减小.

- [1] Geiger H , Rutherford E 1908 *Proc. Roy. Soc. A* **81** 141
- [2] Geiger H , Müller W 1928 *Phys. Zeits.* **29** 839
- [3] Charpak G , Bouclier R , Bressani T , Favier J , Zupančič Č 1968 *Nucl. Instrum. Meth.* **62** 262
- [4] Oed A 2001 *Nucl. Instrum. Meth. A* **471** 109
- [5] Shekhtman L 2002 *Nucl. Instrum. Meth. A* **494** 128
- [6] Hoch M 2004 *Nucl. Instrum. Meth. A* **535** 1
- [7] Oed A 1988 *Nucl. Instrum. Meth. A* **263** 351
- [8] Bartol F , Bordessoule M , Chaplier G , Lemonnier M , Megtert S 1996 *J. Phys.* **III** **6** 337
- [9] Angelini F , Bellazzini R , Brez A , Massai M M , Raffo R , Spandre G , Spezziga M A 1993 *Nucl. Instrum. Meth. A* **335** 69
- [10] Biagi S F , Jones T J 1995 *Nucl. Instrum. Meth. A* **361** 72
- [11] Biagi S F , Bordas J , Duxbury D , Gabathuler E , Jones T J , Kiourkos S 1995 *Nucl. Instrum. Meth. A* **366** 76
- [12] Sauli F 1997 *Nucl. Instrum. Meth. A* **386** 531
- [13] Giomataris Y , Rebourgeard P , Robert J P , Charpak G 1996 *Nucl. Instrum. Meth. A* **376** 29
- [14] Thers D , Abbon P , Ball J *et al* 2001 *Nucl. Instrum. Meth. A* **469** 133
- [15] Delbart A , De Oliveira R , Derré J , Giomataris Y , Jeanneau F , Papadopoulos Y , Rebourgeard P 2001 *Nucl. Instrum. Meth. A* **461** 84
- [16] Kane S , May J , Miyamoto J , Shipsey I 2003 *Nucl. Instrum. Meth. A* **505** 215
- [17] Cussonneau J P , Labalme M , Lautridou P , Luquin L , Metivier V , Rahmani A , Ramillien V , Reposeur T 1998 *Nucl. Instrum. Meth. A* **419** 452

Study on the count plateau , gas gain and energy resolution of the Micromegas detectors

Zhang Xiao-Dong¹✉† Yang He-Run²) Duan Li-Min¹) Xu Hu-Shan¹) Hu Bi-Tao²) Li Chun-Yan¹) Li Zu-Yu¹)

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

² School of Nuclear Science and Technology , Lanzhou University , Lanzhou 730000 , China)

(Received 13 June 2007 ; revised manuscript received 22 October 2007)

Abstract

In this paper , we describe the structure of Micromegas (micro mesh gaseous structure) detector which has been developed recently by our group. And its count plateau , gas gain and energy resolution in the condition of a ⁵⁵Fe X-ray source and various Ar-CO₂ mixed gases are plotted as functions of mesh voltage. Based on the experimental results , we confirm that we have mastered the technique of fabricating this kind of detector with high energy resolution and excellent performance.

Keywords : Micromegas detector , count curve , energy resolution , gas gain

PACC : 2940H , 2940T