

# 微间隙室的研制

郁忠强<sup>2, 1)</sup> 王顺兴<sup>1</sup> 魏宏哲<sup>1</sup> 朱明礼<sup>1</sup> 邓炳坤<sup>1</sup>

1 (物理研究所 台北 11529)

2 (高能物理研究所 北京 100039)

1996-06-13 收稿

## 摘 要

研制成功了微间隙室, 在阳极电压 380V 时获得气体增益 ~500, 对<sup>55</sup>Fe 5.9keV 的 X 射线的能量分辨率达 ~14% (*FWHM*).

**关键词** 微间隙室, 微条气体室, 位置灵敏探测器, 气体探测器.

## 1 引 言

微间隙室 (MGC) 是一种新型的位置灵敏正比气体探测器, 自 1993 年提出后<sup>[1]</sup>, 就得到了广泛的重视. 它将给未来的高能物理实验和其他应用领域提供一种新的径迹探测器. 微间隙室和微条气体室<sup>[2]</sup> (MSGC) 都是采用先进的半导体工业的微电子技术. 和 MSGC 相比, MGC 又作出了重大的改进, 采用双金属层工艺. 由于阳极和收集正离子的阴极之间仅数微米的间距, 因而由雪崩产生的正离子的收集时间很短 (~10ns). 这就可使该探测器在很高的计数率 (~ $10^7$  Hz/mm<sup>2</sup>) 下工作. 阳极之间的距离可以减小至 50—100 $\mu$ m, 和多丝正比室 (MWPC) 相比, 可以大大提高位置分辨本领. 和 MSGC 相比, MGC 更适合做成二维读出结构. 阳极读出为一维, 阴极构成另一维读出, 而且可以按需要做成径向的、小角度的或其他结构以满足实验的要求. 我们在研制 MSGC 的经验基础上<sup>[3]</sup>, 又研制成功了 MGC. 测试结果表明, 在阳极电压  $V_a = 380$ V 时获得气体增益 ~500, 对<sup>55</sup>Fe 5.9keV 的 X 射线的能量分辨率为 ~14% (*FWHM*).

## 2 结构和制作过程

MGC 的结构可以想像成一台小型化的极不对称的阳极-阴极半隙结构的多丝正比室. 它的结构示意图如图 1. 上面的阴极又称为漂移电极, 它到阳极的距离和通常的 MWPC 相同, 约 3—5mm. 而阳极和下阴极之间的距离仅 2—4 $\mu$ m. 大间隙的部分提供带电粒子初级电离电荷, 小间隙部分用于很快地收集雪崩过程产生的正离子. 在 MWPC

1) 台北物理研究所客座研究人员.

中, 阳极丝是悬浮在气体中, 而 MGC 的阳极微条是附着在 2—4 $\mu\text{m}$  厚的绝缘层上. MGC 的基底仅仅作作为机械支撑. 原则上说, 只要能满足微电子学制作过程的要求, 像硅晶元、玻璃等材料都可用, 我们采用的是硅晶元. 在直径为 10.2cm 的 500 $\mu\text{m}$  厚的硅晶元上设计 4 片不同尺寸的探测器晶片. 采用标准的半导体工艺生成双金属层结构, 第一层为 1—2 $\mu\text{m}$  的 Al 金属薄层, 作为探测器的阴极. 四片中有两片是阴极成条状结构, 条宽为 2mm, 间隙为 20 $\mu\text{m}$ , 作为第二维读出, 另外两片不作二维读出, 整个阴极为有效作用区域, 大小为 21mm $\times$ 23mm. 在阴极上有条状的绝缘层(SiO<sub>2</sub>), 宽度为 13 $\mu\text{m}$  或 17 $\mu\text{m}$ . 阳极微条的宽度为 9 $\mu\text{m}$ . 阳极和阴极微条在端部都作圆角化, 以避免容易放电的尖端. 4 个探测器晶片的具体尺寸在表 1 中给出. 为了实验测量的方便, 中间部分的 12 根阳极微条单独引出信号, 相间从两侧引出, 其余部分成组输出. 在有二维读出的基片上, 阴极条和阳极条垂直.

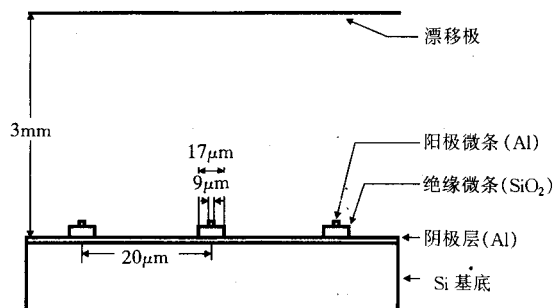


图 1 微间隙室结构示意图

表 1

晶片代码	阳极间距 ( $\mu\text{m}$ )	阳极宽度/厚度 ( $\mu\text{m} / \mu\text{m}$ )	SiO <sub>2</sub> 宽度/厚度 ( $\mu\text{m} / \mu\text{m}$ )	二维读出
100-7-15P	100	7 / 1	15 / 2	是
200-9-13N	200	9 / 1	13 / 2	否
200-9-17N	200	9 / 1	17 / 2	否
200-9-17P	200	9 / 1	17 / 2	是

MGC 的制作过程是首先将直径为 10.2cm 的硅晶元送进高温炉, 采用湿氧化(wet oxidation)的方法生长一层厚度为 1—2 $\mu\text{m}$  的氧化层, 然后采用电子枪溅镀厚度为  $\sim$ 1 $\mu\text{m}$  的金属层. 生长氧化层的目的是将硅晶片基底和溅镀的阴极层隔离. 完成溅镀后, 使用第一层光罩, 进行金属层的蚀刻. 经过光阻处理、曝光、湿蚀刻和去光阻, 清洁晶片等步骤, 得到所期望的阴极形状, 包括二维读出所需要的条状阴极. 接着进行 SiO<sub>2</sub> 绝缘层的生长. 考虑到第一层金属铝的熔点约 620 $^{\circ}\text{C}$ , 不宜采用高温的制作过程. 在进行低温制作过程时, 也必须注意成长速率和温度的控制, 否则将由于氧化层和金属层的膨胀系数不同, 容易产生应力而使氧化层破裂. 在第一批试样时采用了常压化学气相沉积(APCVD, 400 $^{\circ}\text{C}$ ), 制成的片子出现 SiO<sub>2</sub> 层的龟裂. 后来采用电浆辅助化学气相沉积(PECVD, 300 $^{\circ}\text{C}$ ), 成功地生长了 2 $\mu\text{m}$  的 SiO<sub>2</sub> 薄膜. 生成 SiO<sub>2</sub> 绝缘层后, 先不进行蚀刻, 而是再生长第二金属层. 采用金属枪溅镀的方法生成  $\sim$ 1 $\mu\text{m}$  厚度的铝金属层. 然后进行第二金属层的蚀刻, 光罩按阳极微条的尺寸设计. 完成阳极的蚀刻后, 再进行 SiO<sub>2</sub> 绝缘层的蚀刻. 在这里必须先进行第二金属层的蚀刻, 再进行绝缘层的蚀刻, 这是因为

在进行第二金属层的蚀刻时,  $\text{SiO}_2$  绝缘层可以对已经蚀刻过的阴极起保护作用. 蚀刻第二金属层所用的光罩必须和第一金属层蚀刻出的标记作很好的准直. 在显微镜下准直时, 由于光罩的标记和第一金属层的标记之间有  $2\mu\text{m}$  的  $\text{SiO}_2$  层和  $1\mu\text{m}$  的第二金属层, 必须十分仔细. 在进行  $\text{SiO}_2$  绝缘层蚀刻时, 其光罩和第二金属层要求更精确地准直. 对于  $\text{SiO}_2$  的蚀刻曾采用过湿蚀刻, 但控制得不好, 容易产生过蚀刻, 造成较大的偏离. 采用干蚀刻可以保证较好的精度. 在干蚀刻时通入  $\text{HF}$  和  $\text{O}_2$ , 对铝的蚀刻率不到  $\text{SiO}_2$  蚀刻率的五分之一, 因此可以允许对第一金属层轻微过蚀刻.

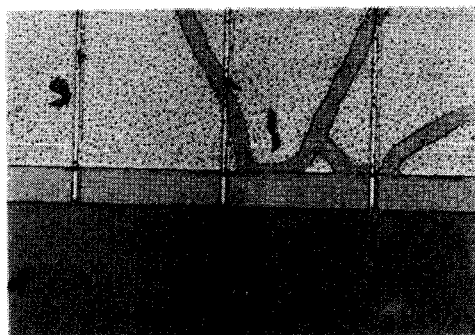


图2  $\text{SiO}_2$  绝缘层的龟裂

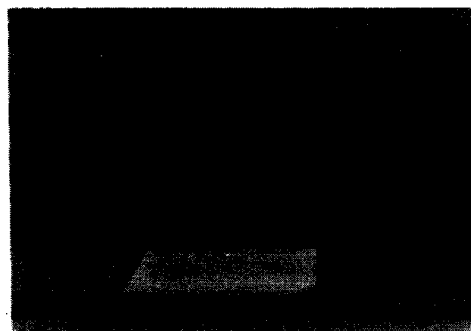


图3  $\text{SiO}_2$  绝缘层和金属层的脱落

图2给出了采用 APCVD 制成的片子. 在显微镜下可以观察到  $\text{SiO}_2$  绝缘层的龟裂. 由于 APCVD 的操作温度达  $400^\circ\text{C}$ , 冷却时  $\text{SiO}_2$  和阳极的膨胀系数不同而造成裂缝. 在进行阳极条的蚀刻时, 蚀刻液经由这些裂缝蚀刻第一金属层, 造成宽达  $20\mu\text{m}$  的裂缝. 图下方  $45^\circ$  的斜裂是由于该处没有第一金属层, 硅晶片的指向  $(1, 1, 1)$  引起了  $45^\circ$  的斜裂纹. 图3给出的是采用 PECVD 生长  $\text{SiO}_2$  绝缘层, 解决了龟裂问题, 但出现了  $\text{SiO}_2$  绝缘层和金属层的脱落. 这是由于制作过程中, 清洁不佳造成层间附着变坏, 致使薄层脱落. 经过改进后, 没有再出现镀层脱落的问题.

MGC 晶片制成后, 固定在一块线路板上, 引出阳极和阴极. 漂移电极采用  $500\mu\text{m}$  网眼的金属丝网. 漂移电极和阳极之间的间距为  $3\text{mm}$ . 采用  $\text{Ar}$  和  $\text{CO}_2$  混合气作工作气体.

### 3 MGC 的性能测试

MGC 工作时, 阴极接地, 阳极加正电压, 漂移电极加负电压. 为了保护晶片, 高压电源设置保护电流为  $0.1\mu\text{A}$ , 当电流高于  $0.1\mu\text{A}$  时, 高压电源自动切断. 阳极微条信号通过前置电荷灵敏放大器 (ORTEC 142A) 进入主放大器 (CANBERRA 2022), 再送入由 ORTEC A65-B1 和微机组成的多道分析仪.

图4给出了 MGC 对  $^{55}\text{Fe}$  放射源的能谱, 从图中清晰地看到  $5.9\text{keV}$  X 射线的能峰和  $\sim 3.2\text{keV}$  处的逃逸峰. 工作气体为  $\text{Ar}/\text{CO}_2(80/20)$ , 漂移电压  $V_d = -850\text{V}$ , 阳极电压  $V_a = 300\text{V}$ , MGC 对  $5.9\text{keV}$  X 射线的能量分辨率为  $14\% - 15\%$  ( $FWHM$ ). 由测得的  $5.9\text{keV}$  峰的电荷量可计算出 MGC 的气体增益.

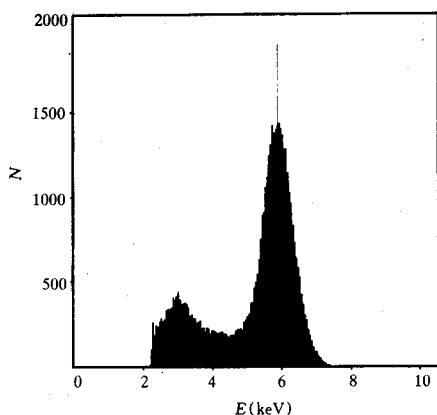


图 4  $^{55}\text{Fe}$  5.9keV X射线的能谱

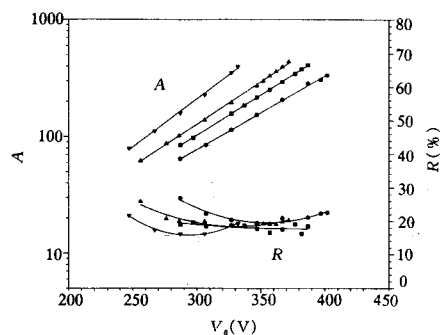


图 5 Ar和CO<sub>2</sub>不同比例时气体增益和能量分辨率随阳极电压的变化

▼ Ar/CO<sub>2</sub> (90/10); ▲ Ar/CO<sub>2</sub> (80/20);  
■ Ar/CO<sub>2</sub> (70/30); ● Ar/CO<sub>2</sub> (60/40).

图 5 给出了工作气体 Ar 和 CO<sub>2</sub> 在四种不同比例下，气体增益  $A$  和能量分辨率  $R$  随阳极电压  $V_a$  变化的关系。四种不同比例是：90%Ar+10%CO<sub>2</sub>，80%Ar+20%CO<sub>2</sub>，70%Ar+30%CO<sub>2</sub> 和 60%Ar+40%CO<sub>2</sub>。漂移电压  $V_d = -850\text{V}$ 。

随着阳极电压升高，阳极电流增大。当阳极电流增大到保护电流设置值 ( $0.1\mu\text{A}$ ) 时，高压电源自动切断，这时阳极电压不能再增加，称这时的阳极电压为放电电压。在这个电压下得到的气体增益为该工作条件下可获得的最大气体增益。

从图 5 看出，Ar 比例越高，在较低的阳极电压下就可以得到较大的气体增益，但放电电压相对地降低。这是容易理解的，因为 CO<sub>2</sub> 浓度低时，雪崩效应容易发生，有更多的电子离子对产生，但猝灭机制弱，容易引起放电。在各种气体比例下得到的气体增益没有数量级的区别。Ar 比例较小时，得到的气体增益略高。从图 5 也可看出，在上述不同的气体比例下，得到的能量分辨率相差不多。在以后的测量中，一般常用 70%Ar 和 30%CO<sub>2</sub> 的混合气。

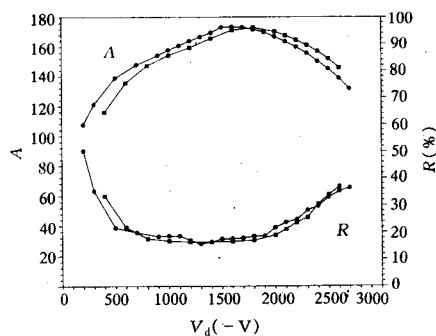


图 6 气体增益和能量分辨率随漂移电压的变化

■ 绝缘微条宽度  $13\mu\text{m}$ ;  
● 绝缘微条宽度  $17\mu\text{m}$ 。

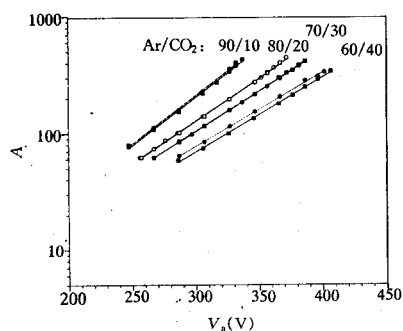


图 7 气体增益随阳极电压的变化

■ 绝缘微条宽度  $13\mu\text{m}$ ;  
● 绝缘微条宽度  $17\mu\text{m}$ 。

图6给出了气体增益 $A$ 和能量分辨率 $R$ 随漂移电压 $V_d$ 的变化. 工作气体为 $\text{Ar}/\text{CO}_2(70/30)$ , 阳极电压 $V_a = 320\text{V}$ . 从图上看, 气体增益 $A$ 随漂移电压 $V_d$ 的增加缓慢地增加, 然后缓慢地下降. 而能量分辨率在很宽的范围( $-500\text{V}$ 到 $-2000\text{V}$ )变化不大.

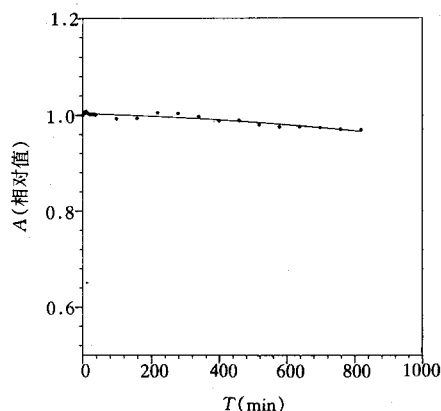


图8 气体相对增益随时间的变化

制备了 $17\mu\text{m}$ 和 $13\mu\text{m}$ 两种宽度的绝缘微条, 即阳极和阴极的水平间距分别为 $4\mu\text{m}$ 和 $2\mu\text{m}$ , 进行了比较. 图7给出了它们的气体增益 $A$ 和阳极电压 $V_a$ 的关系. 工作气体为 $\text{Ar}/\text{CO}_2$  4种不同比例的气体, 漂移电压 $V_d$ 为 $-850\text{V}$ . 从结果看出, 相同电压时两种宽度的增益没有明显差异, 绝缘层宽度较窄时( $13\mu\text{m}$ ), 较早发生放电, 得到的最大气体增益较小.

益较小.

很多实验发现, MSGC 基底材料的选择对它的工作稳定性十分重要. 小间隙 MSGC 的稳定性有明显改善<sup>[3]</sup>. MGC 的结构和小间隙的 MSGC 很相似, 阳极和阴极之间的间距约数  $\mu\text{m}$ , 可期望有较好的稳定性. 图8给出了 MGC 在 20 小时内气体增益的实验结果. 其变化在  $\pm 3\%$  以内. 工作气体为  $\text{Ar}/\text{CO}_2(70/30)$ , 漂移电压  $V_d = -800\text{V}$ , 阳极电压  $V_a = 340\text{V}$ .

## 4 结 论

初步研究了微间隙室(MGC)的工作条件, 包括漂移电压、阳极电压、工作气体 Ar 和  $\text{CO}_2$  的比例和绝缘微条宽度对它的性能的影响. 在阳极电压  $380\text{V}$  时获得的气体增益  $\sim 500$ , 对  $^{55}\text{Fe}$   $5.9\text{keV}$  的 X 射线的能量分辨率为  $\sim 14\%$  ( $FWHM$ ). 气体增益的稳定性在 20 小时内的变化在  $\pm 3\%$  以内. 获得的性能和 J. Van der Marel 等人的结果<sup>[4]</sup>基本一致.

由于获得的最大气体增益约  $\sim 500$ , 仍偏小, 必须进一步提高气体增益. 两维读出的 MGC 晶片有待测试.

## 参 考 文 献

- [1] F. Angelini *et al.*, *Nucl. Instr. & Meth.*, **A335** (1993) 69.
- [2] A. Oed, *Nucl. Instr. & Meth.*, **A263**(1988)351.
- [3] 郁忠强等, 高能物理与核物理, **20**(1996)678.
- [4] J. van der Marel *et al.*, Proc. of the International Workshop on Micro-strip Gas Chambers, Legnaro (Italy), 13-14 Oct. 1994, p100.

## Study of the Micro-gap Chamber

Yu Zhongqiang<sup>2</sup> Wang Shunshin<sup>1</sup> Wei Hornjer<sup>1</sup> Chu Minglee<sup>1</sup> Teng Pingkun<sup>1</sup>

1 (*Institute of Physics, Taipei 11529*)

2 (*Institute of High Energy Physics, Beijing 100039*)

Received 13 June 1996

### Abstract

Micro-gas chambers (MGC) have been produced with a gain of  $\sim 500$  and the energy resolution (*FWHM*) of  $\sim 14\%$  for  $^{55}\text{Fe}$  5.9keV X-ray at anode voltage of 380V.

**Key words** micro-gap chamber, micro-strip gas chamber, position sensitive detector, gas detector.