热压接Micromegas技术及其应用

张志永

微结构气体探测器研究组 核探测与核电子学国家重点实验室 中国科学技术大学 2022年8月

主要内容

□热压接Micromegas

- § 热压接方法
- § 阻性电极
- § 探测器性能指标

□探测器应用实验

§ PandaX-III 低本底高分辨TPC读出
§ STCF-RICH & CEPC-RICH预研
§ 用于散裂中子源中子探测器
§ 缪子成像装置
§ 射线成像、辐射检测等

□小结

热压接方法

热压接方法提供了一种无刻蚀、高性能的微网型微结构气体探测器制造方法

Micromegas in a Bulk



Thermal bonding processing



- 无刻蚀, 无污染
- 易于在实验室进行
- 易于开发新型MPGD
 - Φ0.5mm-Φ1mm 支撑结构,~1cm 间距
 - →易于清洗,利于大面积稳定性
 →支撑死区小于1%

热压接Micromegas制造



设计制造专用场地(540 m²)









全流程制造设备及工艺
 全时人员配置
 M² 量级制造能力

中科大,张志永

2022/08/10

阻性电极

有效面积可达 M^2 以上, $M\Omega/\Box = G\Omega/\Box$ 阻值可控



阻性电极电阻率长期稳定性与锗膜厚度相关性

阻值均匀性: RMS/mean =6.7%

Jianxin Feng, Zhiyong Zhang, Jianbei Liu et al., NIM-A 1031 (2022) 166595.

高计数率快速接地方法



边缘接地



多种接地方式,多点阵列接地方式可以在不增加 死区的条件下,实现更高的效率(对于X-ray, >1M/cm²),对应MIPs粒子约10M/cm²。

Jianxin Feng, Zhiyong Zhang, Jianbei Liu et al., NIM-A 1031 (2022) 166595.



热压接Micromegas性能

综合指标优于国际

上已有的bulk方法

X射线测试

- 增益: ~10⁵(Ar+7%CO₂)
- 能量分辨: <15% (FWHM) @5.9 keV

高能电子束测试(5GeV at DESY)

- X-Y 两维读出
- 探测器效率: >98%
- 位置分辨: 65µm











2022/08/10

主要内容

□热压接Micromegas §热压接方法 §阻性电极 8 探测器性能指标

§ 探测器性能指标

□探测器应用实验

§ PandaX-III 低本底高分辨TPC读出
§ STCF-RICH & CEPC-RICH预研
§ 用于散裂中子源中子探测器
§ 缪子成像装置
§ 射线成像、痕量污染检测等

口小结

PandaX-III 实验



科学意义:

- 中微子是否是自身的反粒子
- ✓ 轻子数守恒问题
- ✓ 中微子绝对质量







指标要求: ■工作在10 bar Xe (1%TMA) ■低本底材料 ■52个20×20 cm² MMs ■X-Y 两维条读出 ■3% 能量分辨 @ 2.5 MeV →要求高分辨和良好均匀性

PandaX-III 低本底高分辨TPC读出



下一代对撞机实验预研(CEPC&STCF)

STCF-RICH & CEPC-RICH预研



THGEM (CsI) + Micromegas 作为切伦科夫光电探测器。





液体 (C_6F_{12}) 和气体 $(CF_4\&C_3F_8)$ 辐射体用与低-高动量的强子鉴别。

中国散裂中子源Back-n(中子束流与共振成像)

CSNS back-n首次实现两维束斑测量,至今正常运行三年 开展中子共振成像测量



Keqing Gao et al., 2021 JINST 16 P02036.

中国散裂中子源Back-n (中子反应截面测量)



- 国重实验室团队成功开展原型多功能时间投影室探测器第一次中子束流实验, 2020/03, http://sklpde.ustc.edu.cn/2020/0309/c7107a414221/page.htm.
- 国重实验室团队成功开展原型多用途时间投影室探测器第二次中子束流实验, 2021/02, <u>http://sklpde.ustc.edu.cn/2021/0217/c7107a470852/page.htm</u>.
- Weihua Jia, You Lv, Zhiyong Zhang et al., 1035 (2022) 167157.

高分辨缪子成像装置

样机设计:





μSTC: μ(muon) Scattering tomography & Transmission imaging faCility











Yu Wang, Zhiyong Zhang, Shubin Liu et al., IEEE TNS, vol. 69, no. 1, pp. 78-85, Jan. 2022.

第一代: 6层15cm×15cm 2D读出Micromegas 100微米分辨





第二代: 8层40cm×40cm 2D 读出Microemgas 100微米分辨





中科大,张志永

硼中子俘获治疗(BNCT)中子束检测







- 大中子束斑(>Φ10cm)
 →280mm×280mm 灵敏面积
 >10⁹ Hz/cm² 超强中子通量
- ▶ 快速接地方法实现超高计数率
- 伽马、热/快中子
 →产物能量径迹多维信息测量



用于X射线成像、强流质子束检测的光读出Micromegas



中科大,张志永

痕量级低本底α、β探测

多维度信息测量, 实现极低本底辐射计数、α能 谱和污染分布成像



无屏蔽条件下, α本底计数 率比对标国外商业产品 降低10倍以上。



Samples		Lead content	Remaining events (48h)
Nothing		0	1
5052 aluminum-magnesium allo sheet	y	0	1
H62 brass sheet		0	1
Lead-free solder	0	0	1
Tin-lead solder		70%	7
Lead sheet	-	100%	10

Jiang Pan, Zhiyong Zhang, Changqing Feng et al.,, Review of Scientific Instruments 93, 013303 (2022).



Haiyan Du, Chengbo Du, Ke Han et al., arXiv:2208.03046v1

小结

- □中科大团队经过多年研究攻关,开发了完全自主知识产权的热压 接Micromegas制作方法和工艺,实现了Micromegas的高性能和批量化制造。
- □从科学装置建设到辐射检测应用研究,热压接Micromegas性能已 经在实践中得到检验,并支撑其取得了丰富的研究成果。
- □希望与业界同仁开展更广泛深入的交流合作,共同推动该领域技术和应用更上一层楼。

小结

- □中科大团队经过多年研究攻关,开发了完全自主知识产权的热压 接Micromegas制作方法和工艺,实现了Micromegas的高性能和批 量化制造。
- □从科学装置建设到辐射检测应用研究,热压接Micromegas性能已 经在实践中得到检验,并支撑其取得了丰富的研究成果。
- □希望与业界同仁开展更广泛深入的交流合作,共同推动该领域技术和应用更上一层楼。



Backup slides

高增益极低离子反馈: DMM&TMM



Resistive anode: very crucial for MPGDs

Pros & cons



resistive paste by screen printing:

 $10\text{-}20\ \mu\text{m}$

- o Complex pattern
- o Large area
- Δ High temperature curing
- Δ Resistivity controllability
- Δ Sputter up and be damaged when sparking

^{ng:} Ge film by thermal evaporation DLC deposited by magnetron

- coating: 0.1-1 µm
- o Resistivity controllability
- o Radiation purity
- o Large area
- Δ Oxidation in humidity

sputtering:

- o Resistivity controllability
- o Radiation purity
- o Flexible substrate
- o Good chemical and thermal stability