

高气压下Micromegas的稳定性 研究与改进



报告人：彭云志



第十三届全国先进气体探测器研讨会

2025/08/22



目录

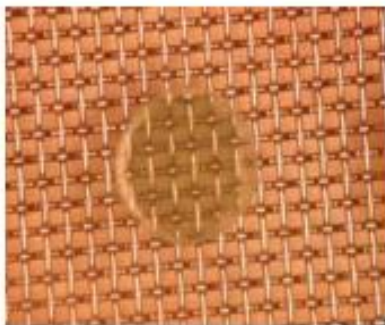
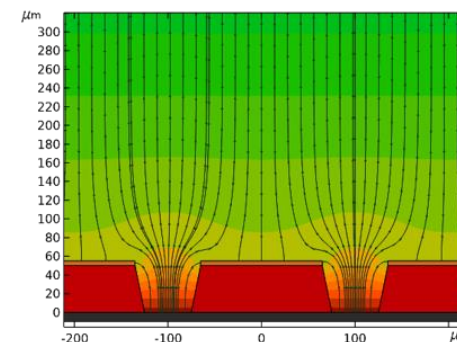
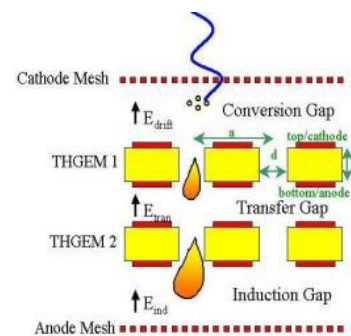
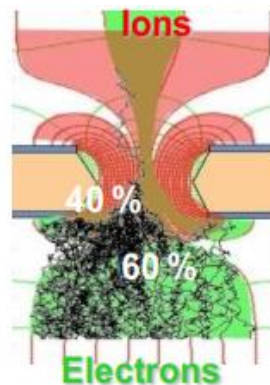
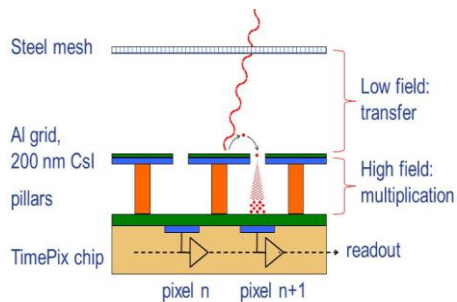
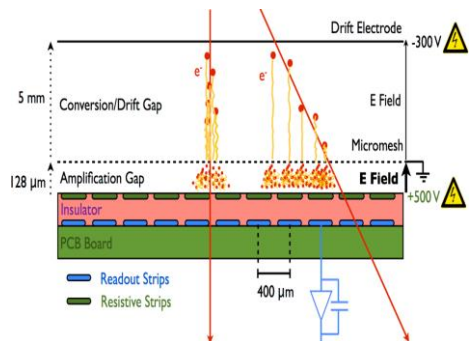
- MPGD 与气压
- 稳定性问题
- 热压接方法
- 稳定性的改善
- 总结



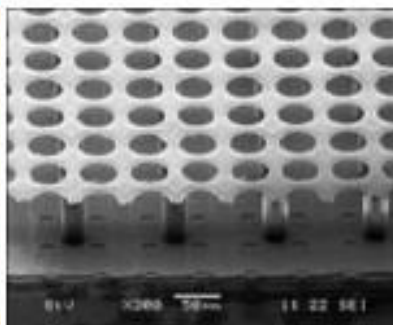
目录

- **MPGD 与气压**
- 稳定性问题
- 热压接方法
- 稳定性的改善
- 总结

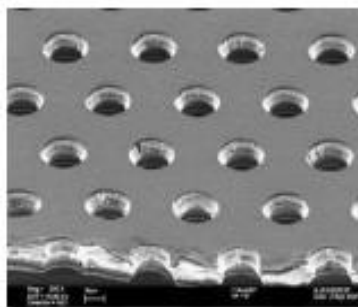
➤ MPGD 通常工作于1 bar 气压环境中



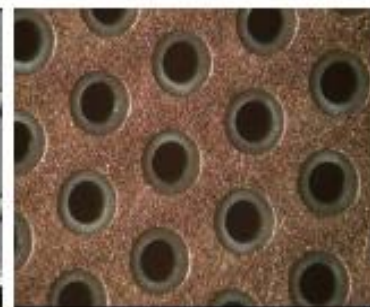
Micromegas



Ingrid



GEM



THGEM



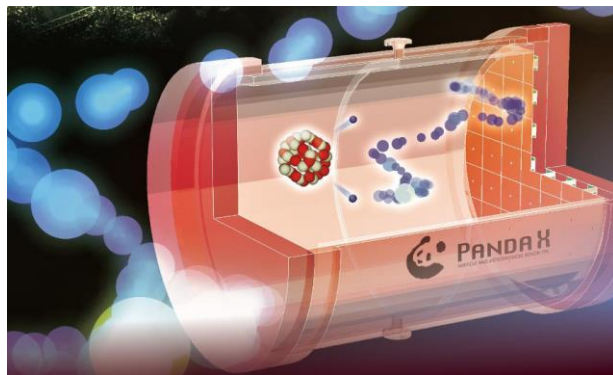
$\mu\text{RGroove}$

➤ MPGD面临的新需求：高气压环境



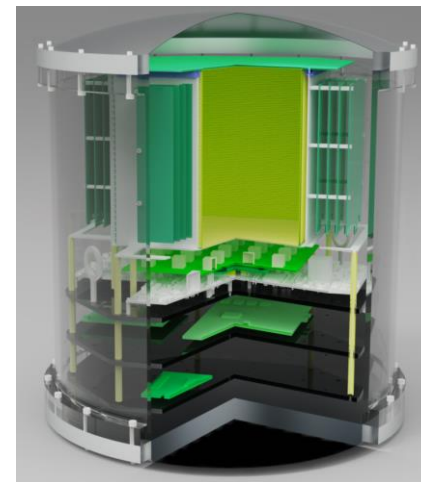
T-REX 项目

气体: 10 bar Xe/TMA(99/1)

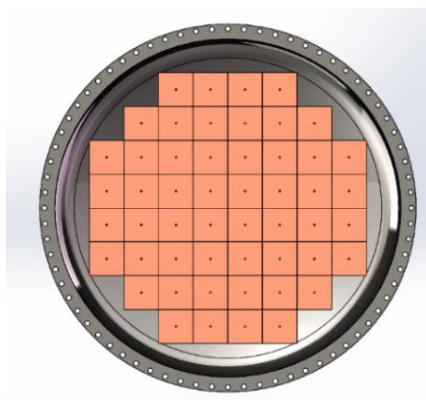
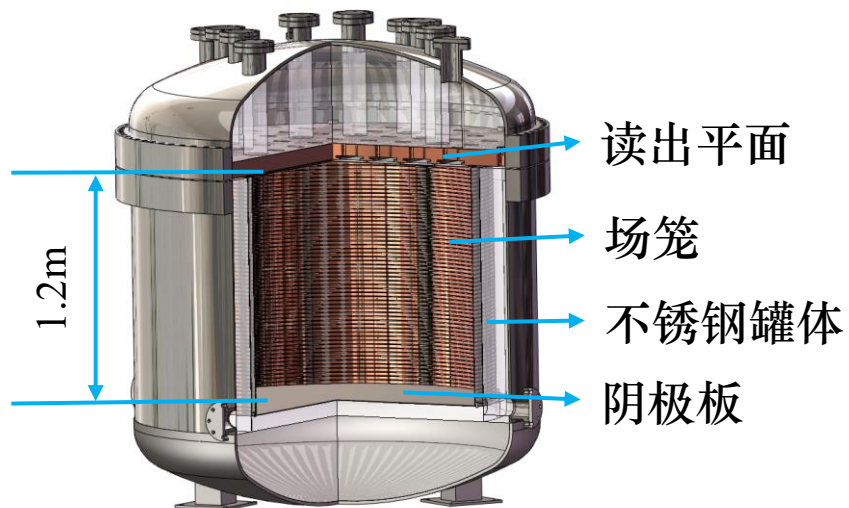


The **P**article **a**nd **A**strophysical **X**enon Experiments-III
(PandaX-III) 实验

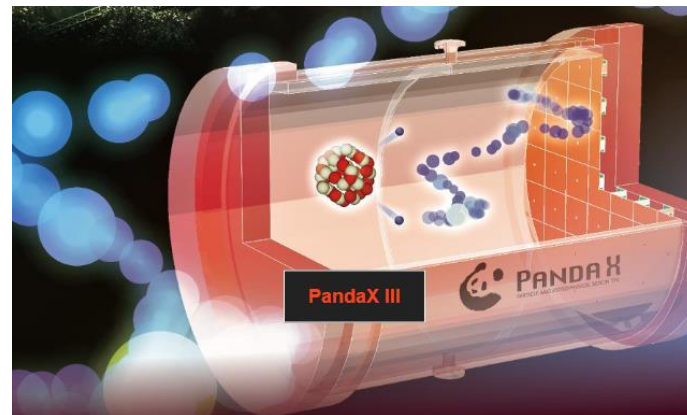
气体: 10 bar Xe/TMA(99/1)



The **MeV** **G**amma ray **T**elescope
(MeGaT) 实验
气体: 5 bar CF_4



组成读出平面的
52块Micromegas阵列



位于锦屏地下实验室 (CJPL-II) 的PandaX-III 实验使用高压时间投影室 (TPC) 搜寻 ^{136}Xe 的无中微子双贝塔衰变 (NLDBD)

读出平面的需求:

- 3% 能量分辨率@ 2.459 MeV
- 低放射性
- 稳定高增益 ~ 500 @ 10 bar 以确保足够高的信噪比
- 长时间稳定运行@ 10 bar

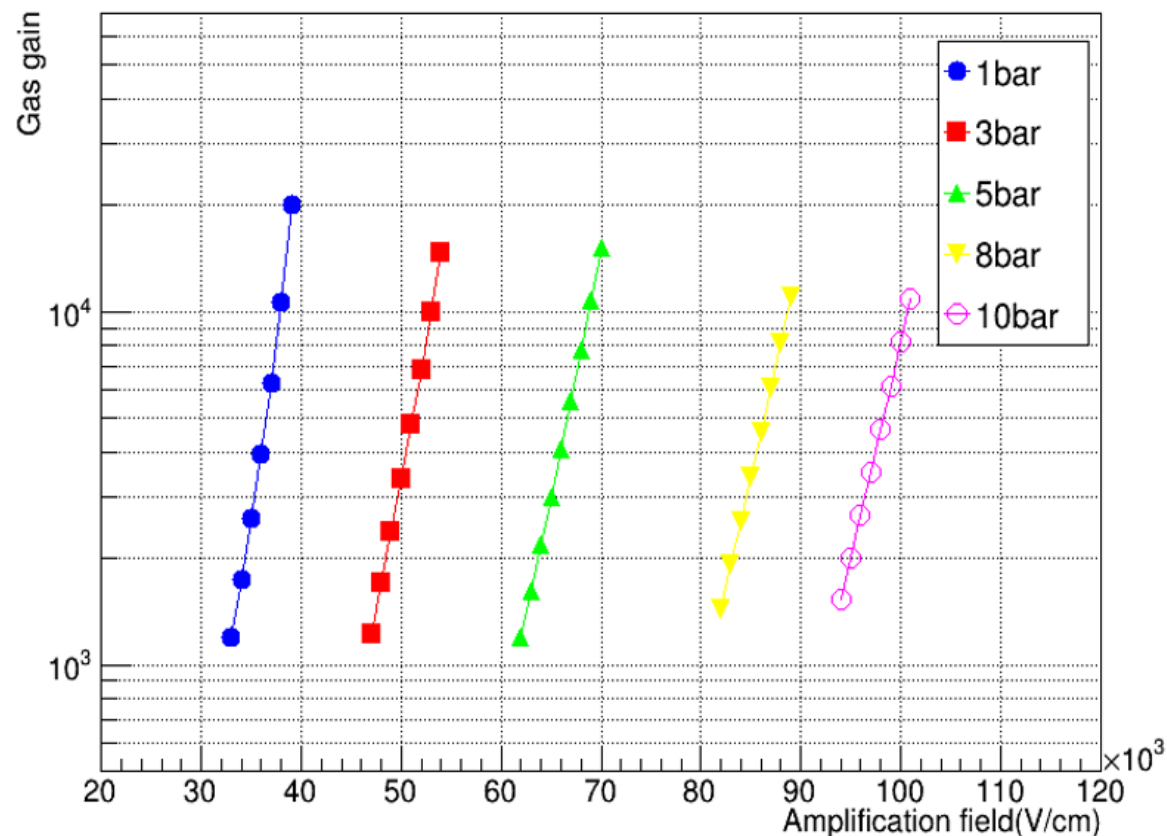
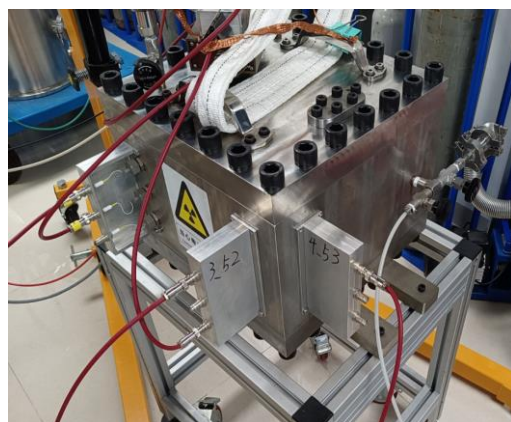


目录

- MPGD 与气压
- 稳定性问题
- 热压接方法
- 稳定性的改善
- 总结

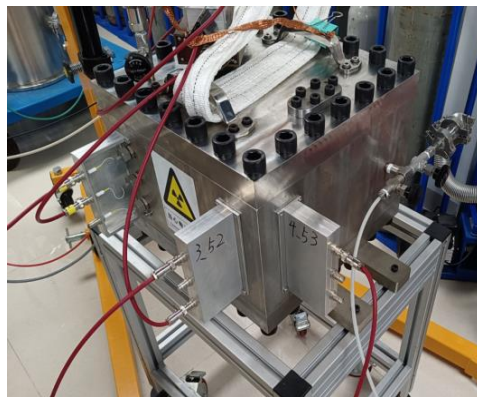
对于 Micromegas, 在1-10 bar范围内, 随着气压上升

- 工作电压逐渐升高
- 最大增益逐渐降低
- 微放电频率逐渐增加
- 稳定性逐渐降低

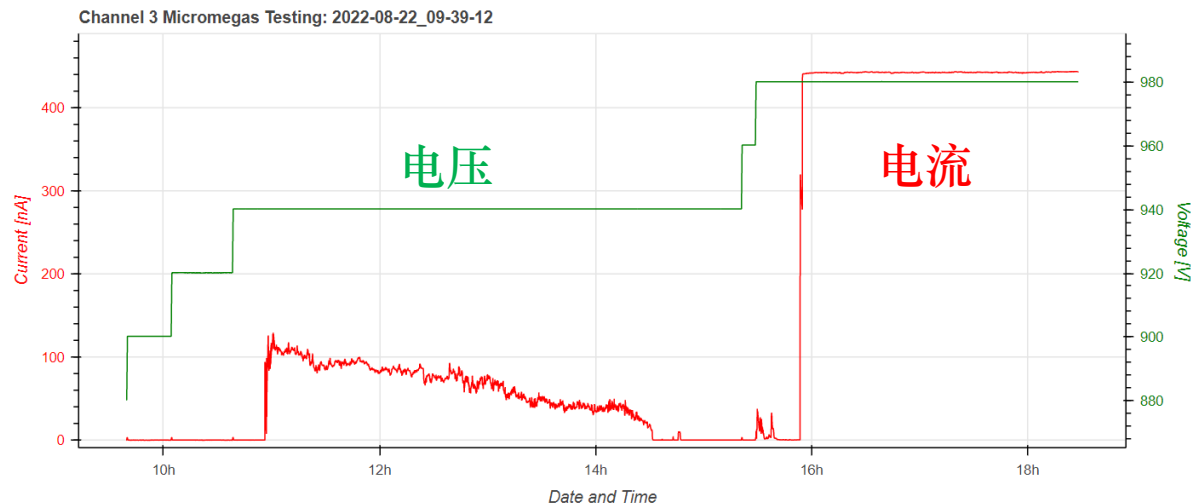


气体: 10 bar Ar+2.5%Iso

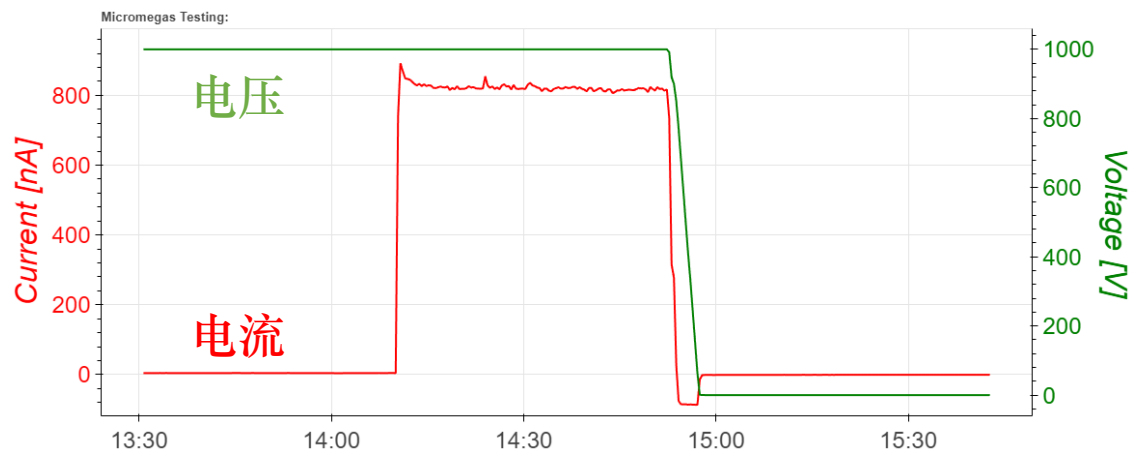
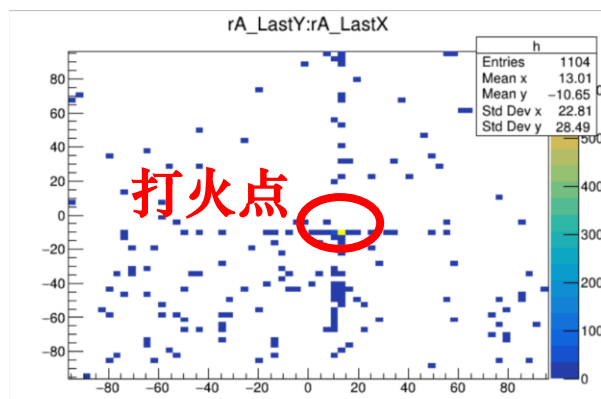
- 突然出现的无法自行恢复的
大漏电流
- 两地测试均出现相似问题

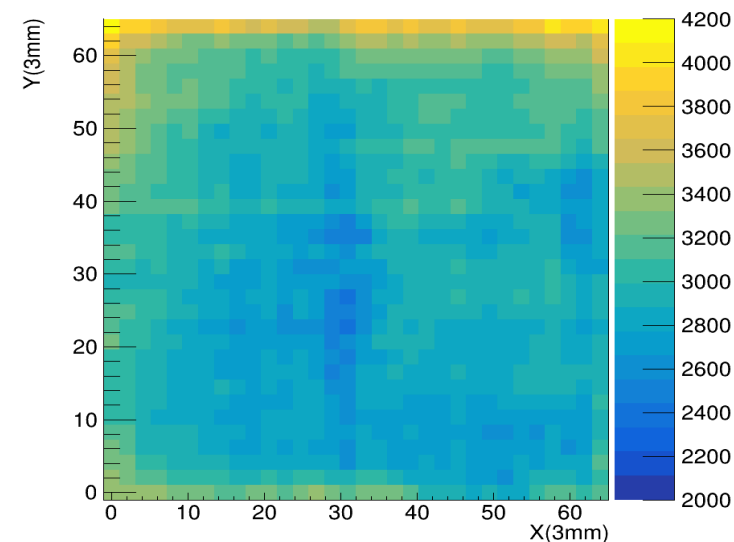
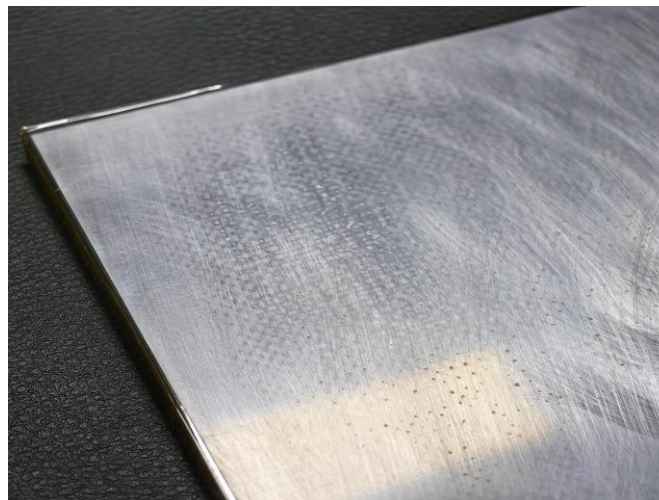


中国科大测试结果



上海交大测试结果





在阳极板上镀锕(厚度: 300nm)
可以有效提高Micromegas的最大增益和稳定性

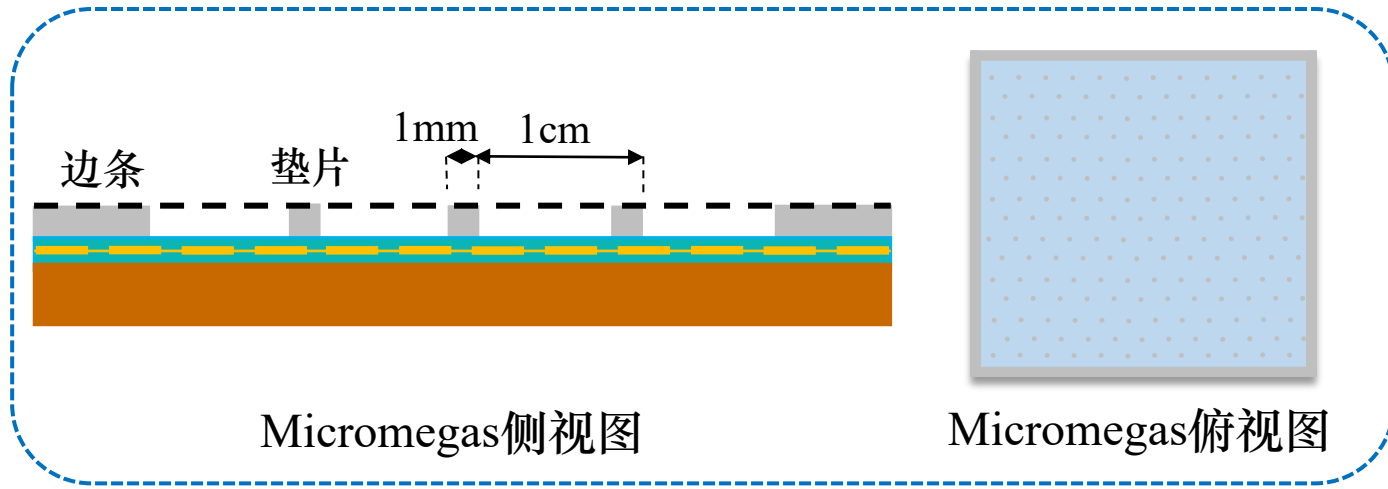
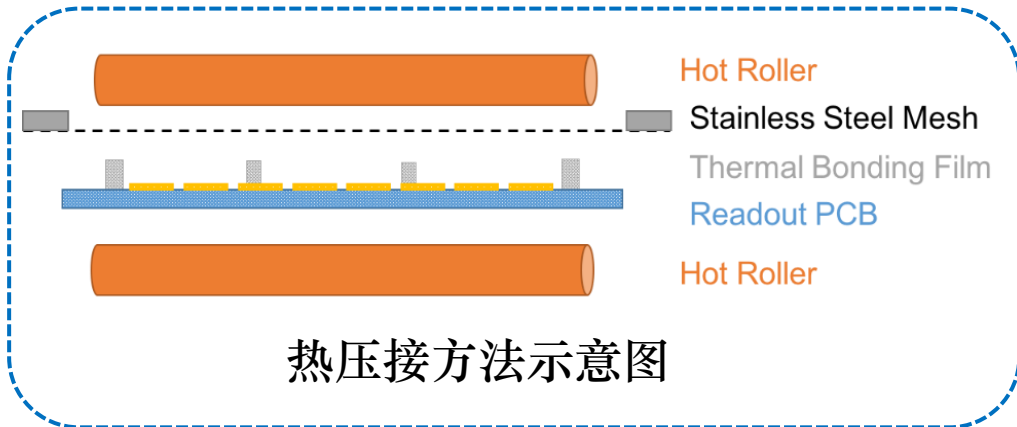
提高增益均匀性也可以提高Micromegas的稳定性
(避免边缘出现高增益区域)



目录

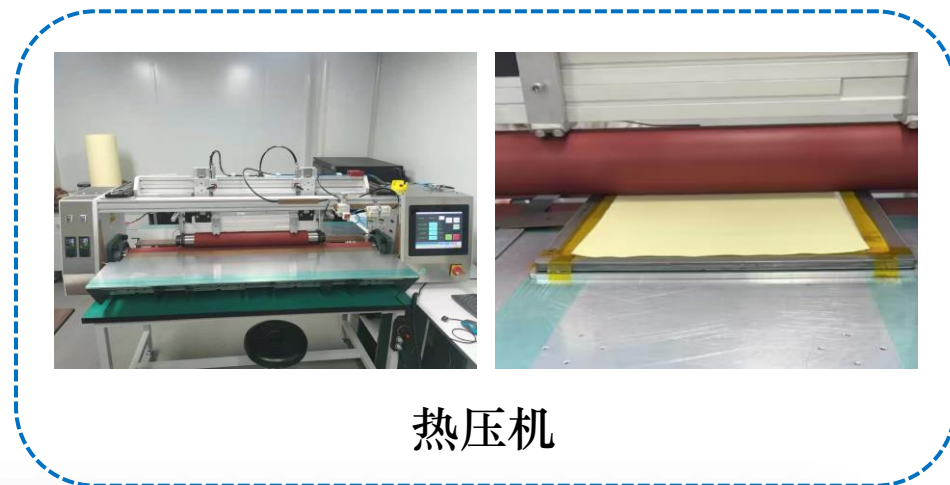
- MPGD 与气压
- 稳定性问题
- **热压接方法**
- 稳定性的改善
- 总结

经过十余年的不断探索，热压接方法（TBM）日臻成熟，该方法提供了一种简洁、无蚀刻的Micromegas批量制作工艺。

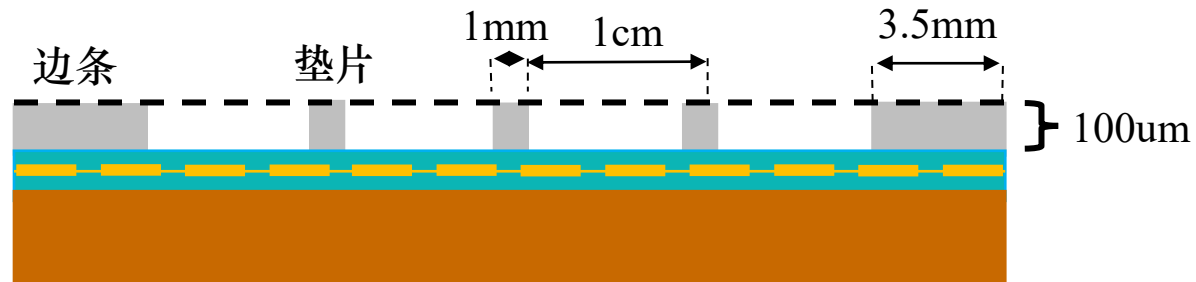


热压接工艺的优势:

- 无刻蚀, 无污染
- 制作简单
- 新结构容易制作
- 经济成本低
- $\Phi 0.5\text{mm}$ - $\Phi 1\text{mm}$ 胶柱, $\sim 1\text{cm}$ 间隔
 - ➔ 易清洁, 尤其是针对大面积探测器
 - ➔ 所有胶柱占面积 $< 1\%$



改进的热压接方法



热压接Micromegas侧视图

- 两种方法都是通过胶将丝网、支撑介质、阳极板粘接在一起
- 热熔胶膜（由热熔胶和中间的支撑介质组成）是一体的，热压时直接放置即可
- 改进方法所需胶水和绝缘介质是分别放置的

热熔胶
支撑介质
热熔胶



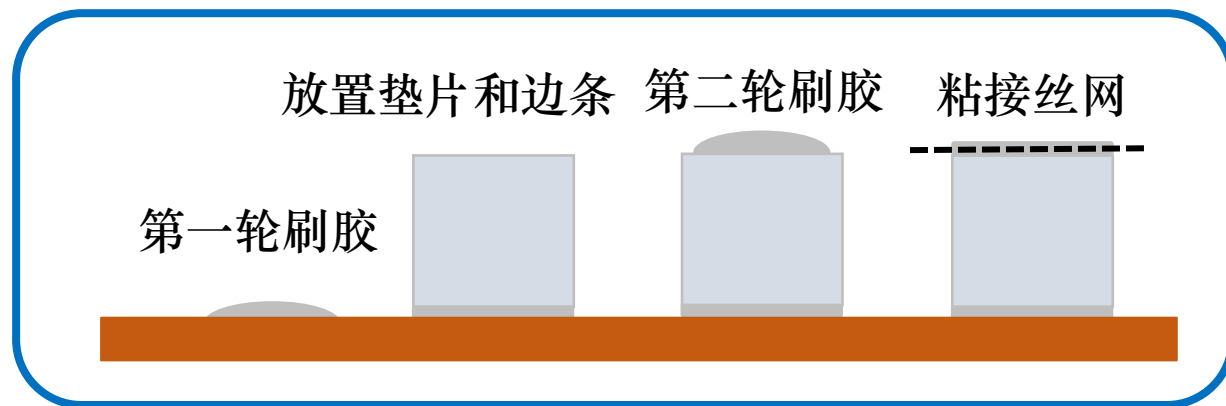
热压接方法示意图

放置支撑介质 第二轮刷胶 粘接丝网
第一轮刷胶

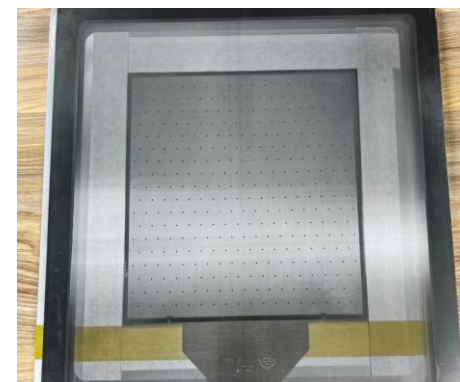
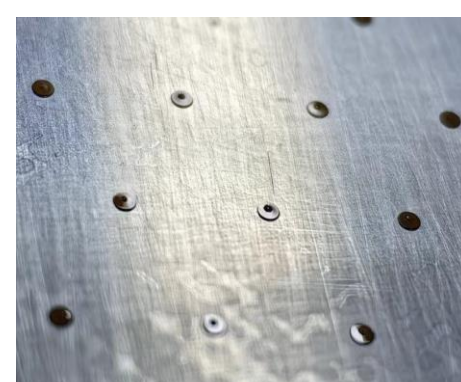
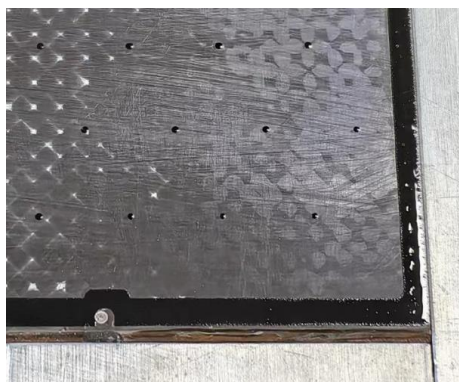


改进型热压接方法示意图

改进的热压接方法



改进型热压接方法示意图



第一轮刷胶

放置垫片和边条

第二轮刷胶

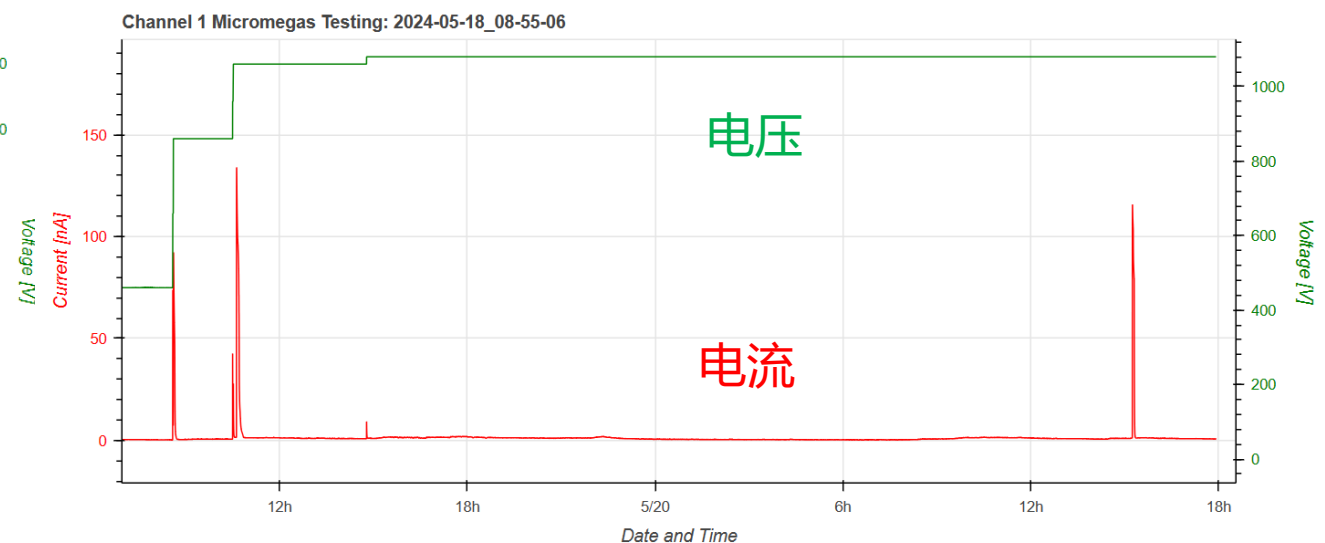
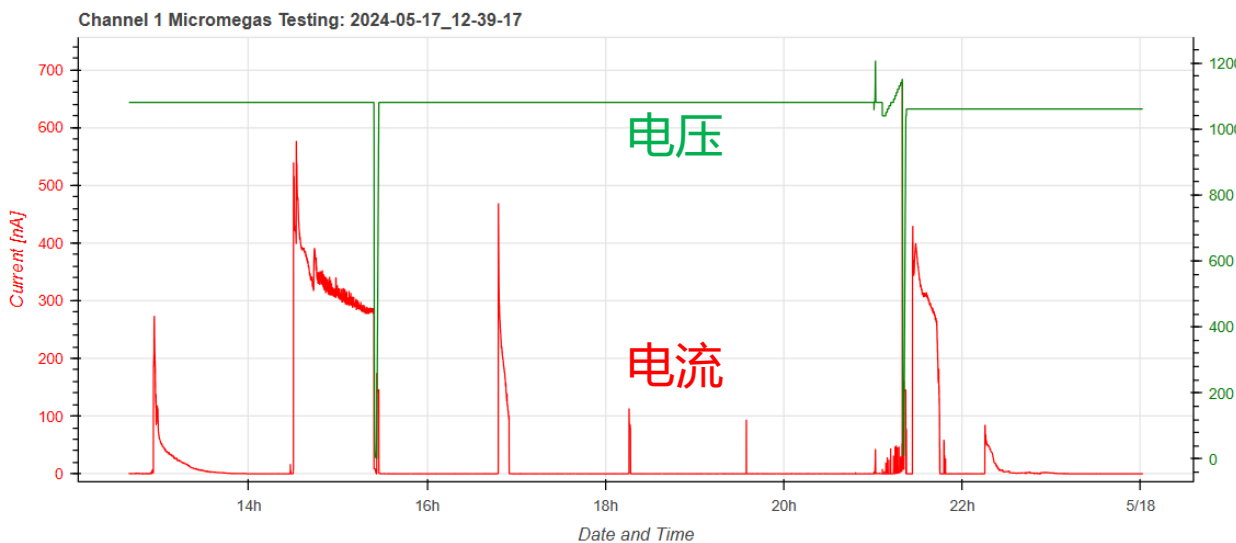
粘接丝网



目录

- MPGD 与气压
- 稳定性问题
- 热压接方法
- **稳定性的改善**
- 总结

- 电压: 1080V
- 气体: 10 bar Ar+2.5%Iso
- 增益: ~2500
- 放射源: ^{55}Fe
- 在科大的测试中, 14/17个 Micromegas 在10bar气压中稳定运行

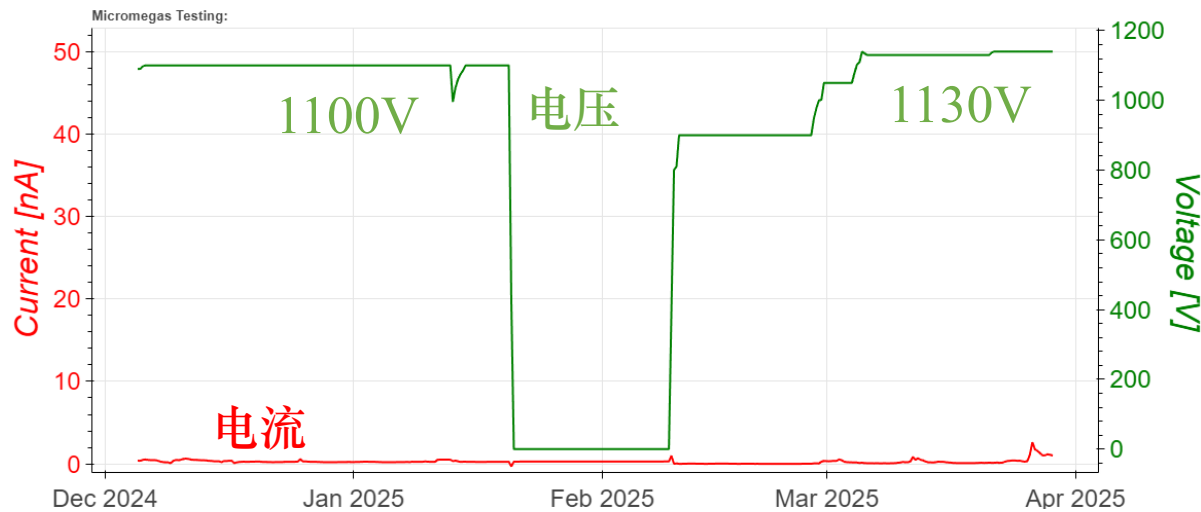


电压电流监测



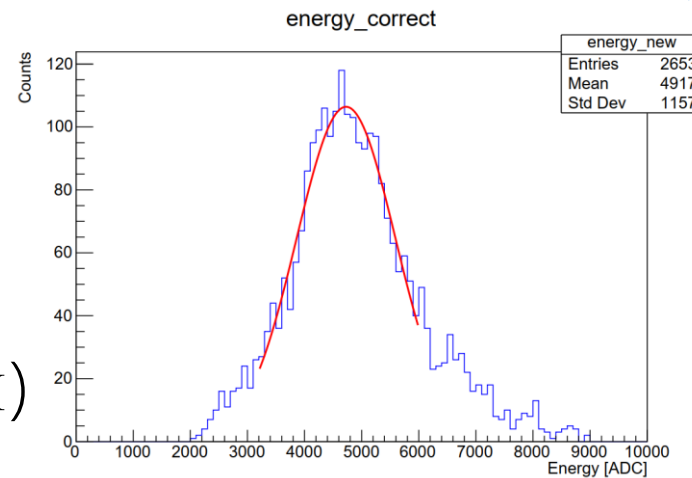
稳定性的改善

- 气体: 10 bar **Ar+2.5%Iso**
- 放射源: ^{137}Cs
- Micromegas 稳定运行5个月
- 增益: ~1000



- 气体: 10 bar **Xe+1%TMA**
- 在**1个月**的测试中, 10 bar 氙气中运行稳定 (之前最好的结果是2天).
- 稳定性问题已经初步解决
- 气体中的杂质使得能量分辨率较差

- 放射源: ^{109}Cd
- 电压: 1050V
- ADC: 4930
- 增益: 2150
- 能量分辨: 43% (FWHM)



➤猜想：由于热熔胶表面极化电荷的影响，气体部分电场强度增大，降低了探测器整体的稳定性

➤使用更少胶量的胶水替代热熔胶，避免溢胶，优化胶膜附近气隙，提高Micromegas高气压下稳定性

气体部分

$$\int_0^{l_1} E \cdot dl + \int_{l_1}^{l_2} (E_0 + E') \cdot dl = V$$

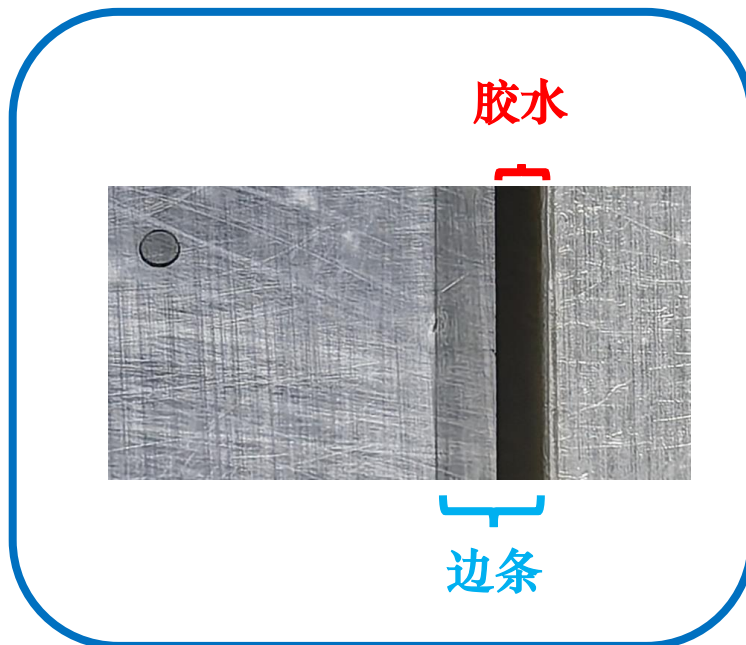
热熔胶内

退极化场

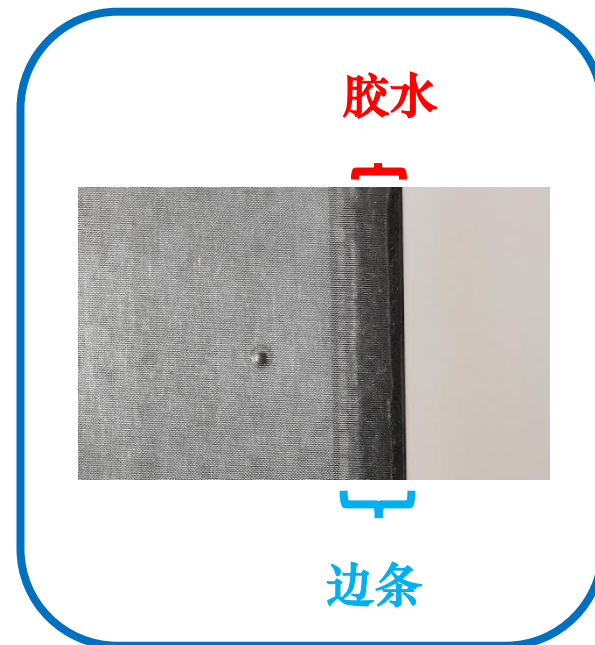
热熔胶
支撑介质
热熔胶



热熔胶膜边缘状态



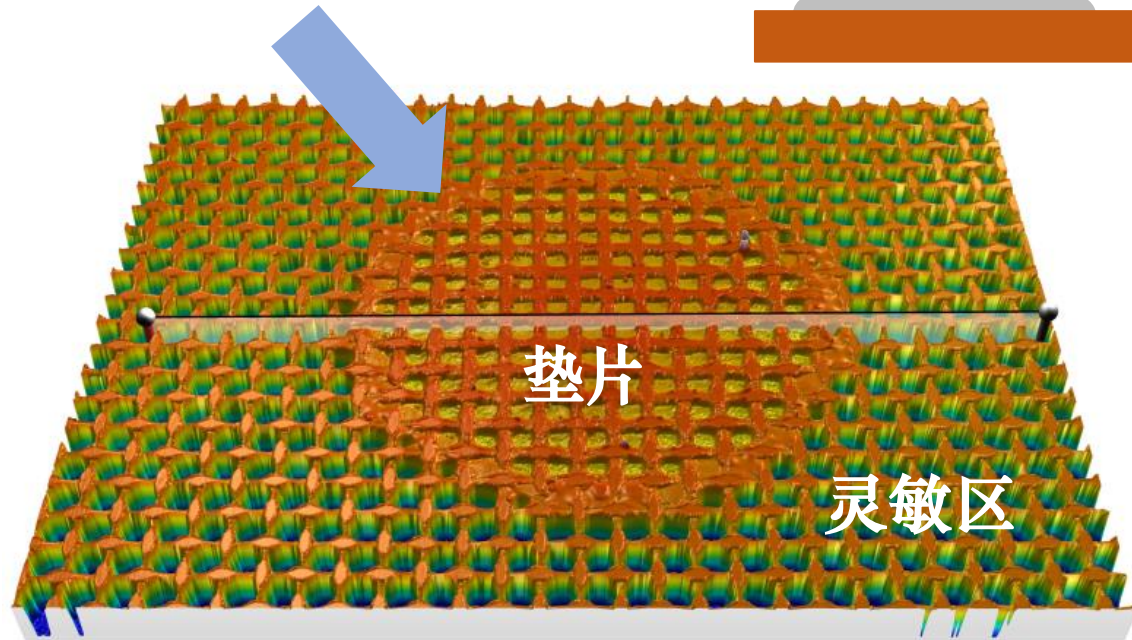
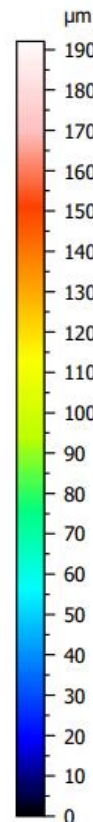
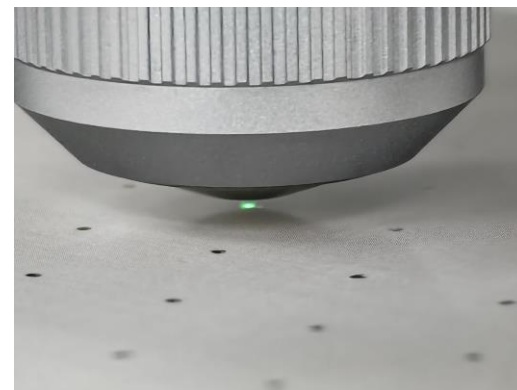
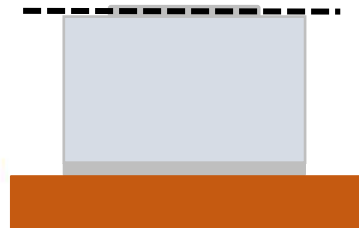
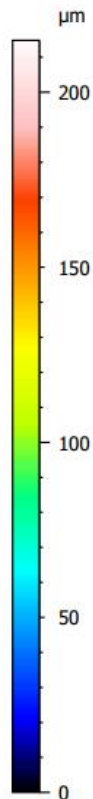
改进型热压接方法边条状态



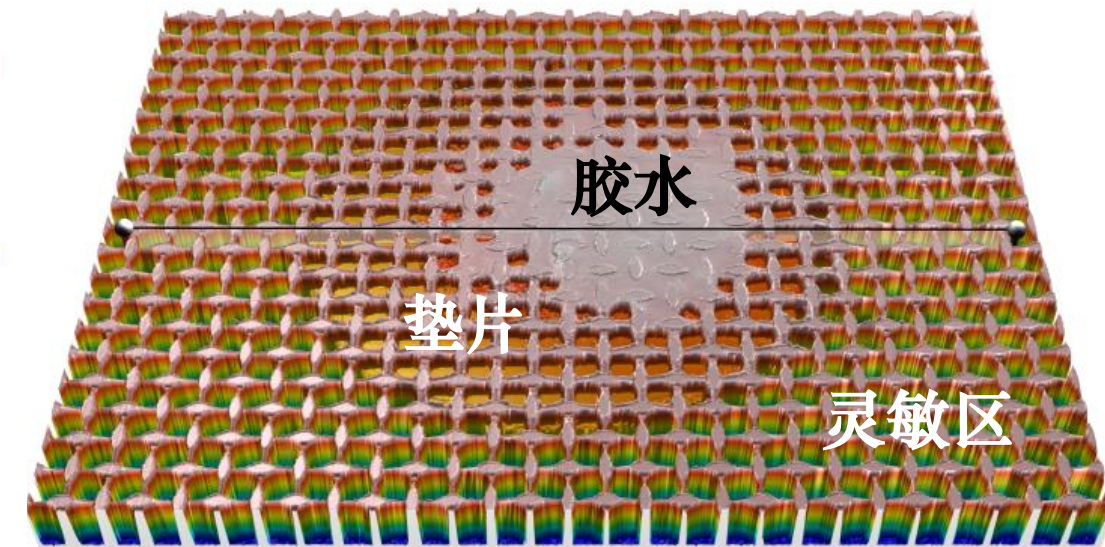
稳定性的改善 垫片的3D图像

- 使用徕卡共聚焦显微镜进行观测
- 通过软件重建得到3D图像

垫片周围被挤出的热熔胶

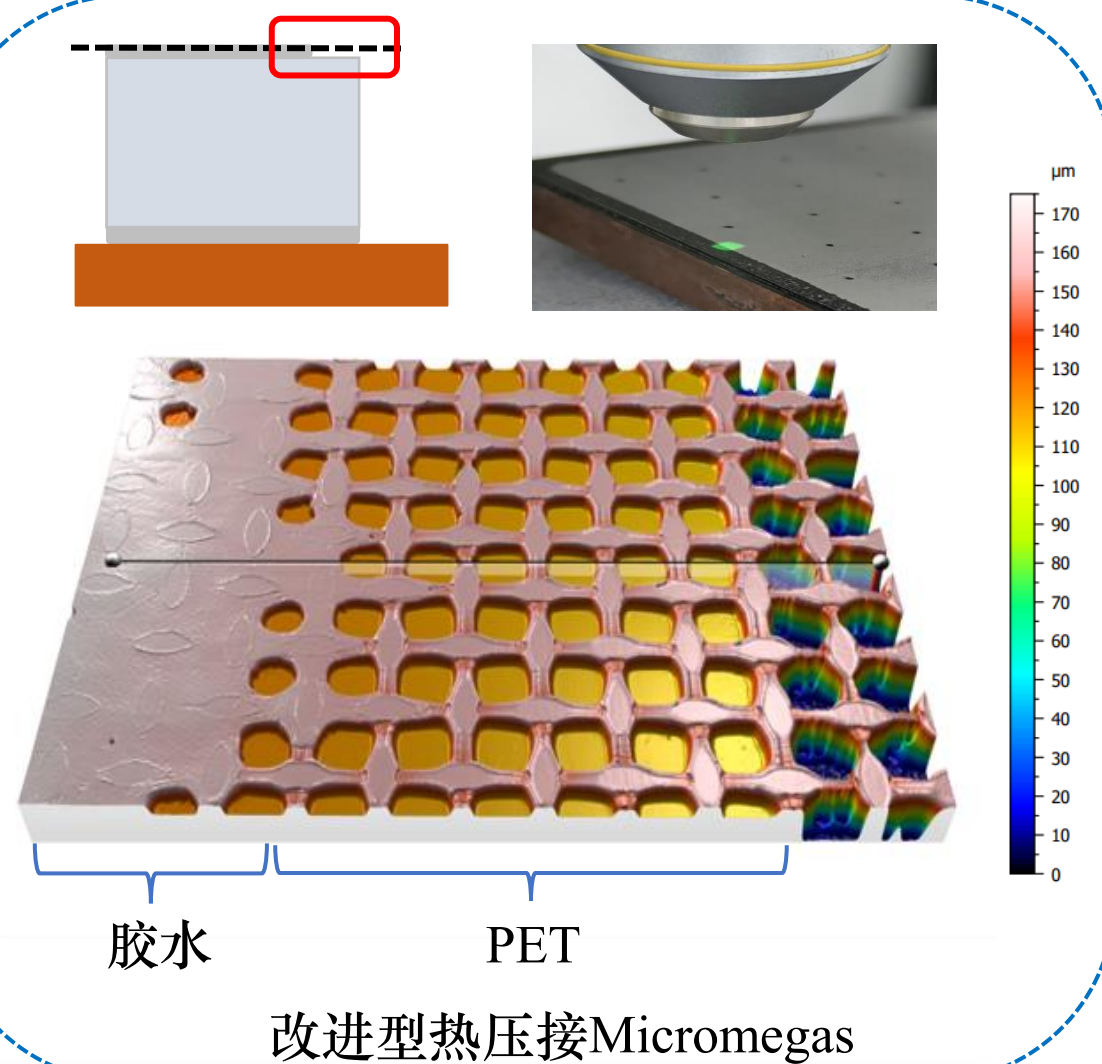
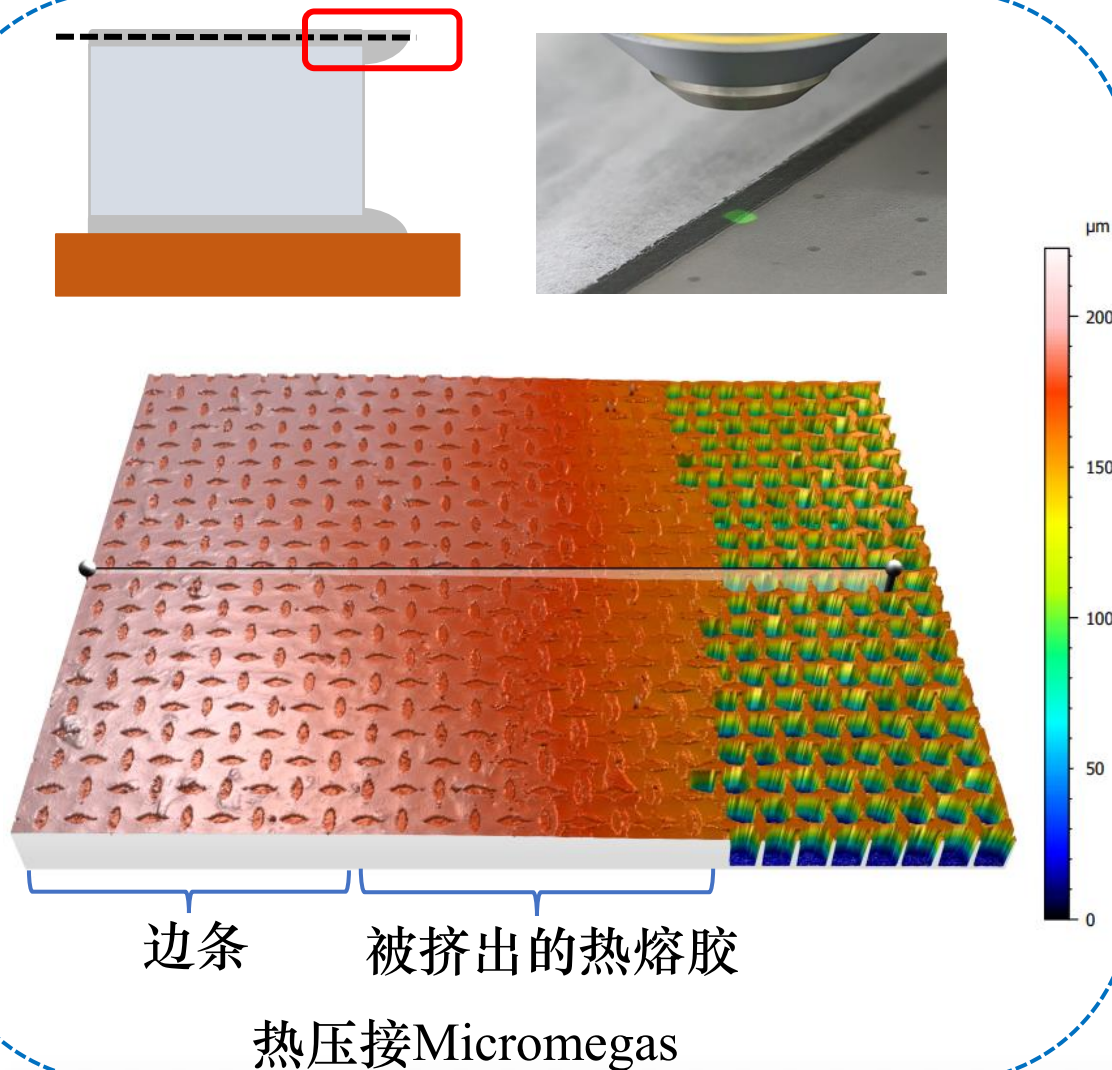


热压接Micromegas



改进型热压接Micromegas

稳定性的改善 边条的3D图像





总结

- 稳定性是MPGD在高气压下长期运行的基础
- 已有方法不足以解决高气压下的稳定性需求
- 改进型热压接Micromegas在高气压稳定性上具有良好表现
- 目前Micromegas高气压下稳定问题已经初步解决

Thanks for Listening



To be continued