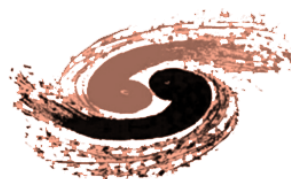


多层厚GEM（M-THGEM）研制

谢宇广、彭志远、李更兰



中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences

内容提要

- 厚GEM研究
- 多层厚GEM介绍
- M-THGEM研制
- M-THGEM性能测试
- 总结

厚GEM研究

THGEM是重要的微结构气体探测器之一，在国内我们已实现厚GEM的工业化和产品化，创新建立了成熟生产工艺，规格种类丰富，性能优越，围绕应用需求拓展了以下发展方向：

50×50 100×100 200×200 mm²
300×300 400×400
500×1000 500×500

低中子吸收
低放射本底

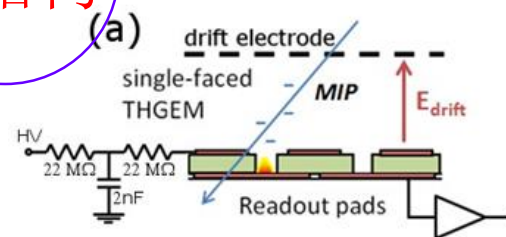
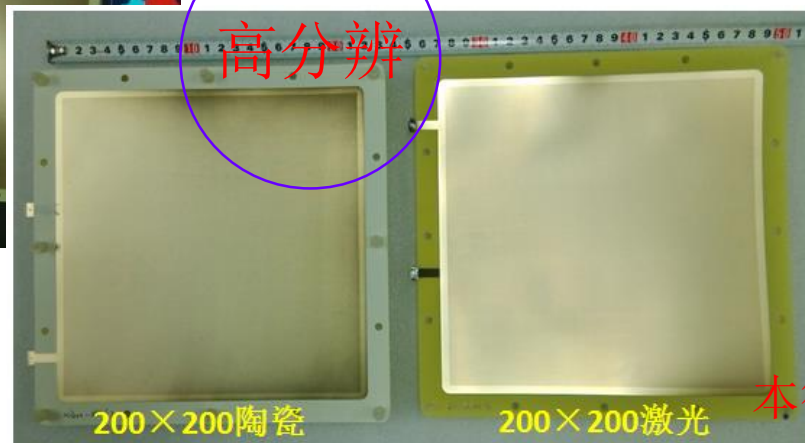
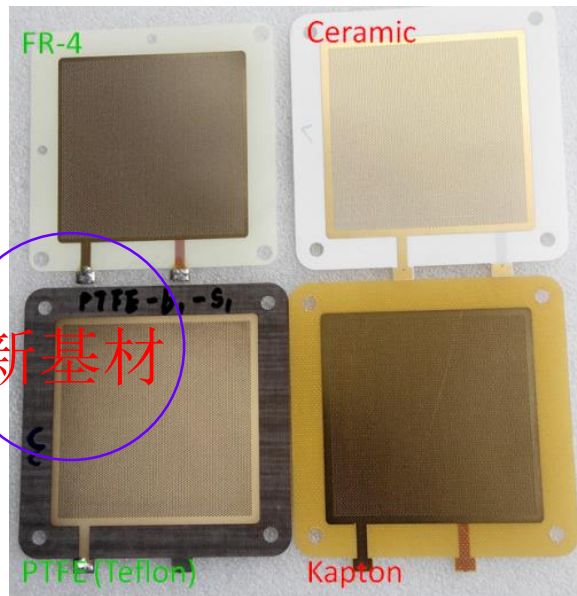
大面积

THGEM
应用

新基材

新结构

高分辨



本征分辨 $\leq 200\mu\text{m}$

新结构厚GEM

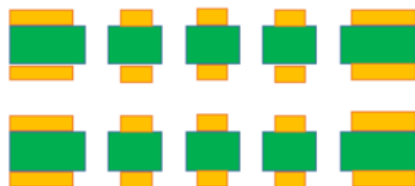
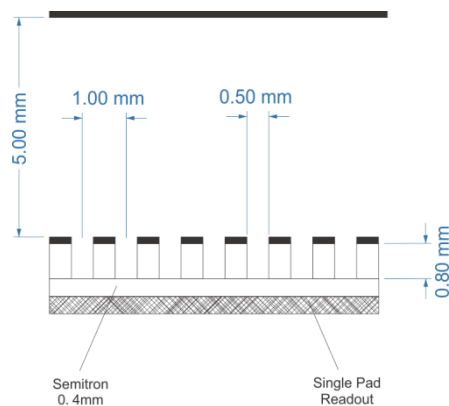
阻性厚GEM-R-THGEM

井型厚GEM-W-THGEM

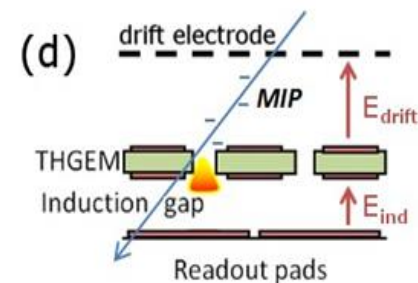
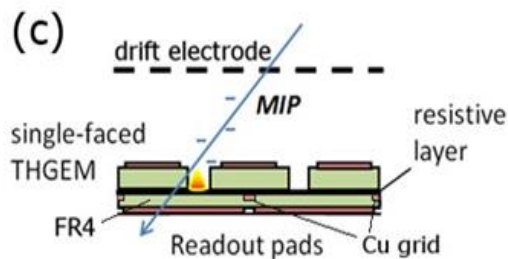
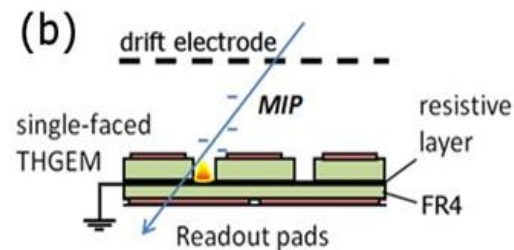
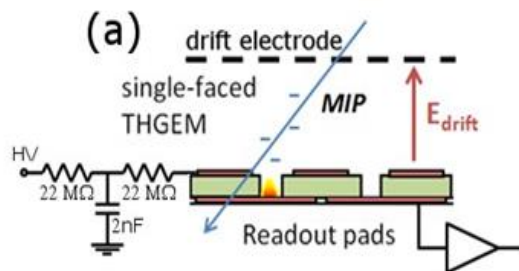
Groove厚GEM-G-THGEM

多层厚GEM-M-THGEM

...



Standard THGEM



Well-THGEM



Multi-layer THGEM(M-THGEM)

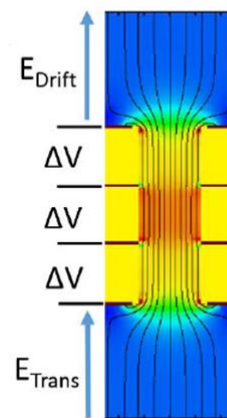
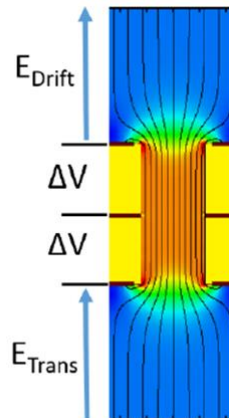
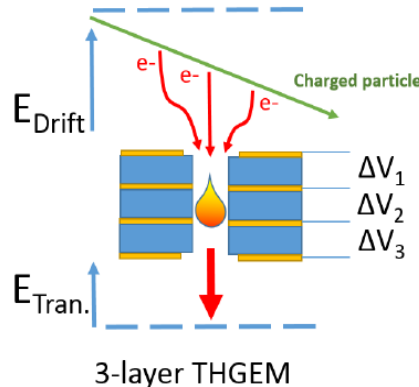
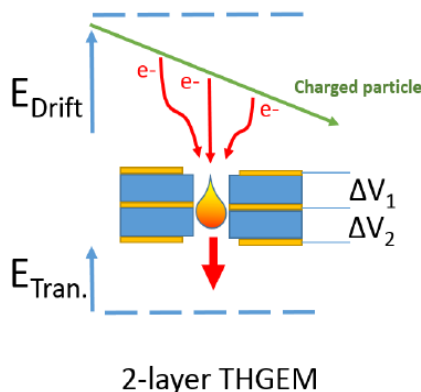
不同结构类型的厚GEM

多层厚GEM简介

多层厚GEM (即Multi-layer Thick Gaseous Electron Multiplier, M-THGEM), 它的设计灵感来自于多层级联的THGEM/GEM探测器, 其外观与普通厚GEMZ非常相似, 仅能从导电引脚进行区分。

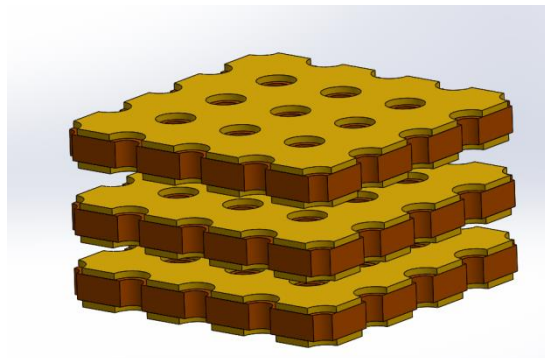
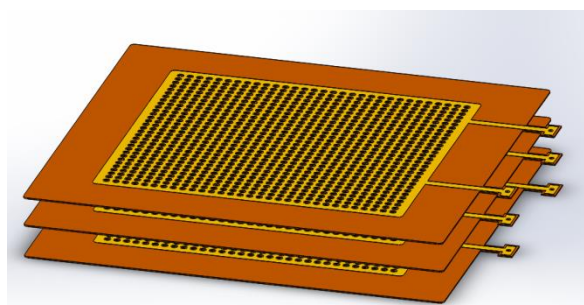
M-THGEM的核心是在单片厚GEM膜上实现连续多层雪崩倍增, 对比级联结构, 其优点在于:

- **减少电荷损失**; 级联结构的THGEM膜微孔中产生的雪崩电荷相当一部分损失在该膜的下表面电极和下层级联THGEM的上面电极, 相反M-THGEM可以将一个阶段产生的所有电荷无损地传输到下一个倍增阶段。
- **结构紧凑**, 单膜厚度增加, 不易变形, 容易做到大面积覆盖。
- **各层孔与环的同心度高**, 避免了对位及各层平行度等影响增益均匀性及稳定性的因素
- **雪崩路径增长**, 在低气压或低工作电压下也能保持较高的电子倍增。

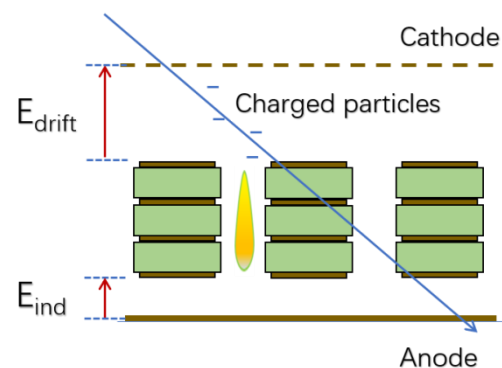
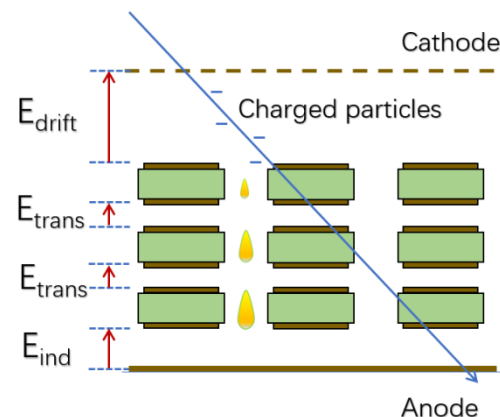
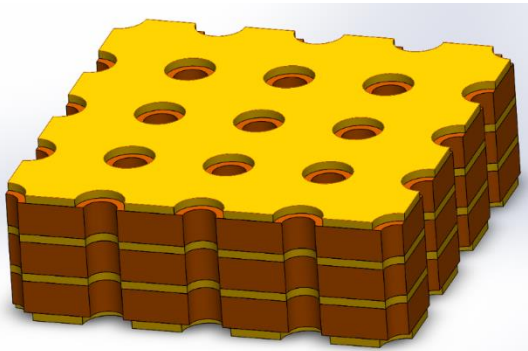
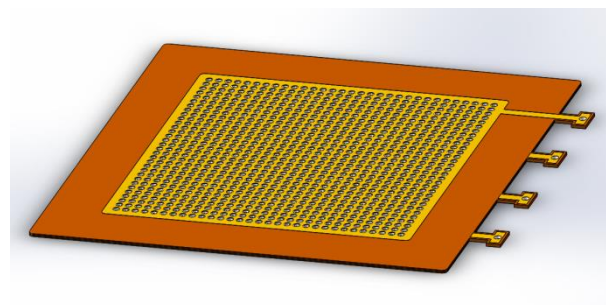


多层厚GEM简介：制作工艺

M-THGEM的制作与普通单层THGEM基本一致，主要差别在于采用了PCB多层板技术，将导电层和绝缘层交替压合，其工作原理也与级联结构类似。因此，相对于其它类型新结构厚GEM，M-THGEM是比较被看好的思路，且增益、能量分辨等容易保证。

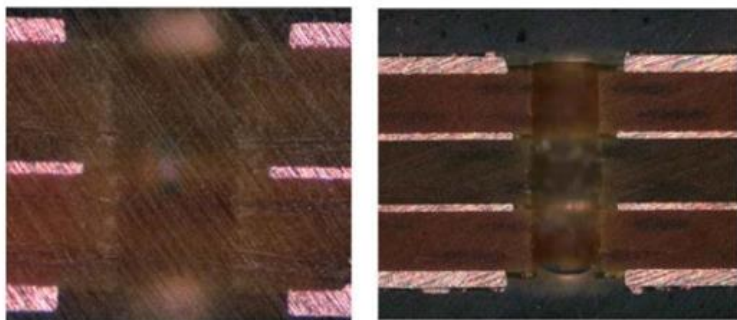


PCB多层板技术+机械钻孔+rim腐蚀



M-THGEM研制

目前已研制了第一批次FR-4基材2-layer THGEM和3-layer THGEM以及PTFE基材的3层M-THGEM，并为国内外提供了陶瓷M-THGEM膜。



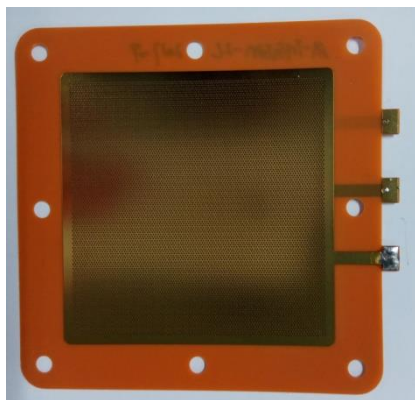
2L(左)和3L(右)M-THGEM剖面图

HD: 200 μ m
Pitch: 600 μ m
Rim: 80 μ m

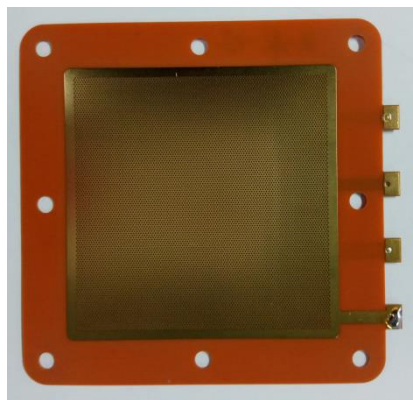
整板厚度:
2L: 300 μ m
3L: 500 μ m

PTFE基材, 200 $\times$ 200mm²

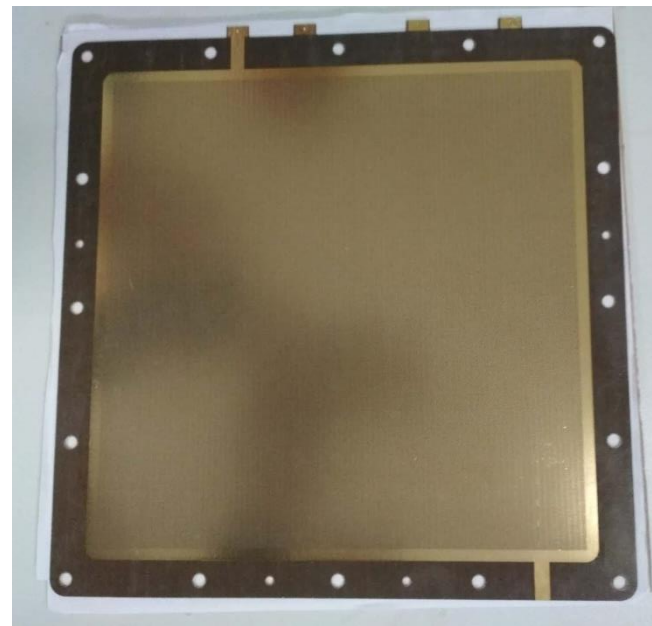
FR-4基材, 60 $\times$ 60mm²



2-layer-THGEM



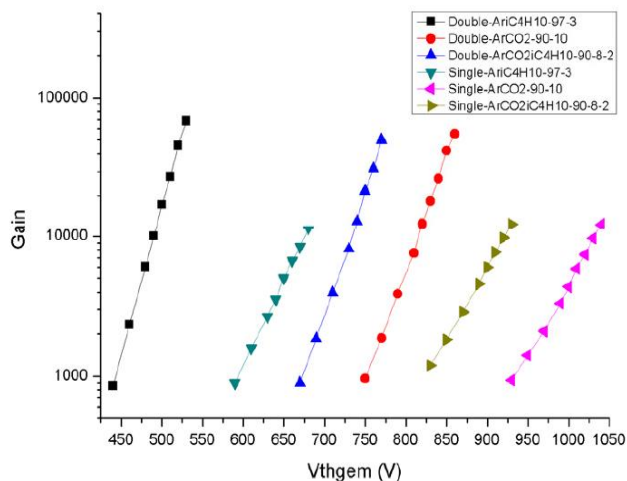
3-layer-THGEM



3-layer-THGEM

M-THGEM性能：气体增益

主要测试了第一批次的10片FR-4基材 2层M-THGEM膜，除了为测试其耐压极限打火损坏的两片，其余6片均能正常工作，**成品率：75%**；导电层间耐压都在1600V以上。

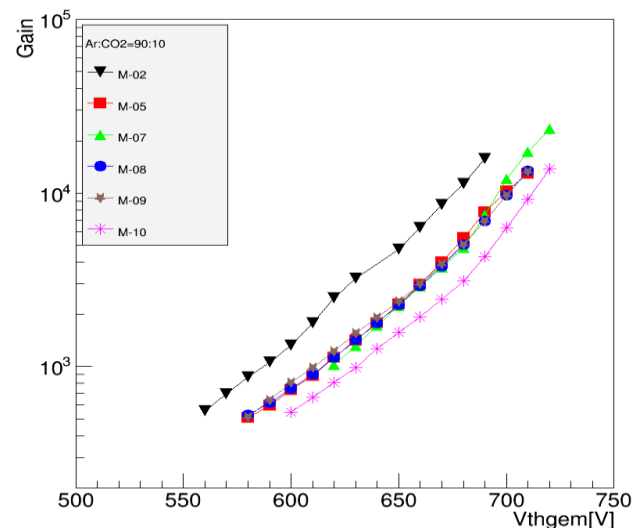


普通THGEM单层和级联结构在不同气体中的增益

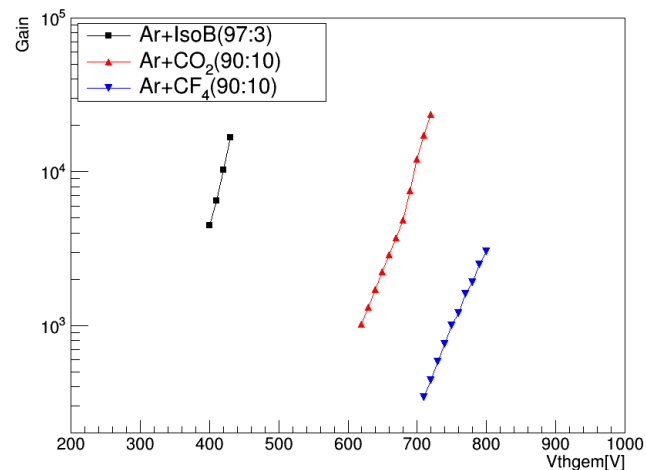
增益测试结果：

- 能在多种常用气体中正常工作，在绿色气体Ar+CO₂中工作良好，增益在10⁴以上；
- 较普通THGEM级联结构，同样的增益状态下2层厚GEM工作电压更低，不易打火，但极限增益未能达到预测大小($\geq 10^5$)。

2-layer M-THGEM

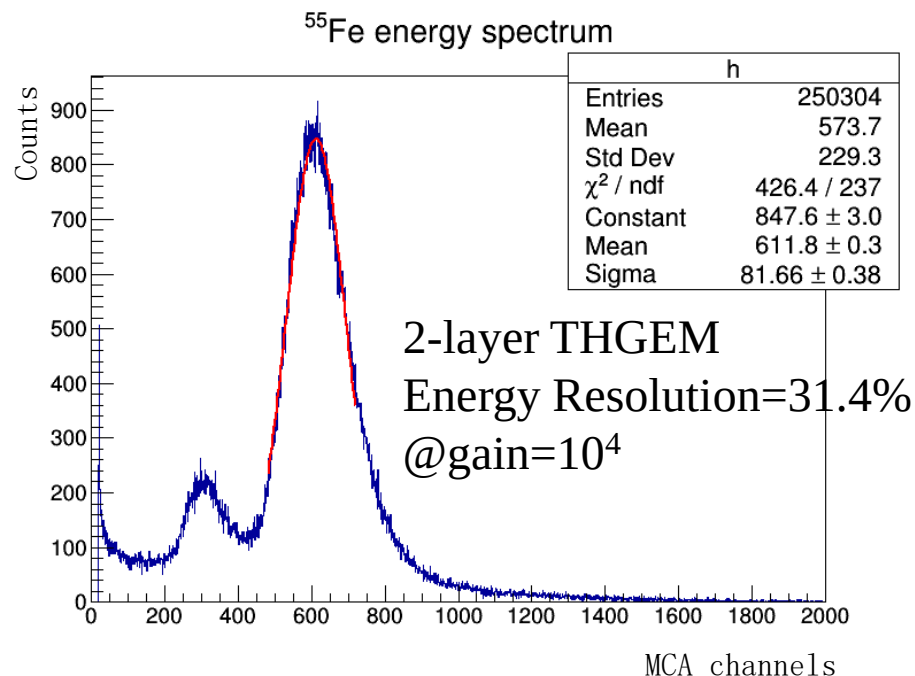
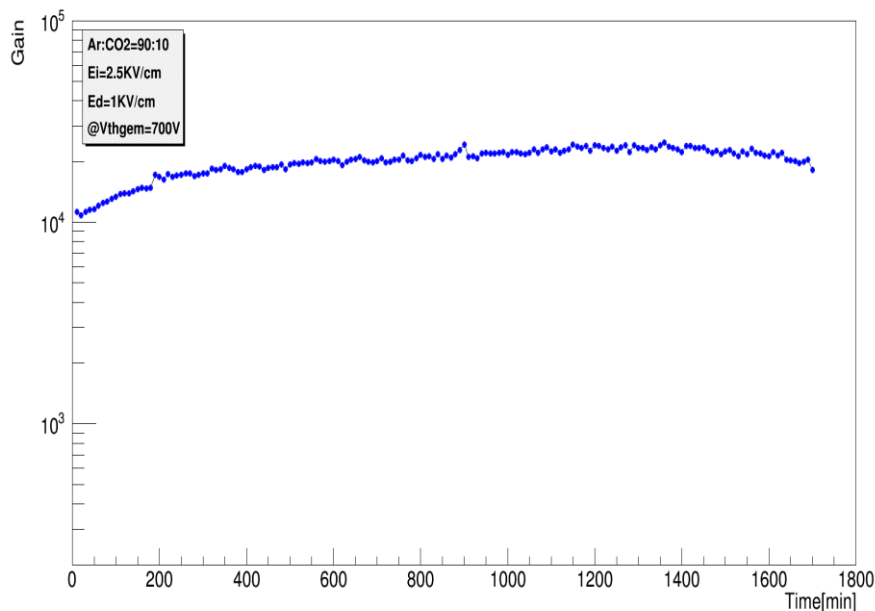


2-layer THGEM



M-THGEM性能：长期稳定性、能量分辨

就目前的测试结果来看，2层M-THGEM可以长时间稳定地工作在 2×10^4 增益状态下，波动幅度大约为 $2400/20000=12\%$ ；增益为 10^4 时（Ar/CO₂=90:10），能量分辨率为31.4%。较低增益下能量分辨表现更好。



多层厚GEM简介：应用前景

单膜高增益的M-THGEM应用潜力^[1]在于：

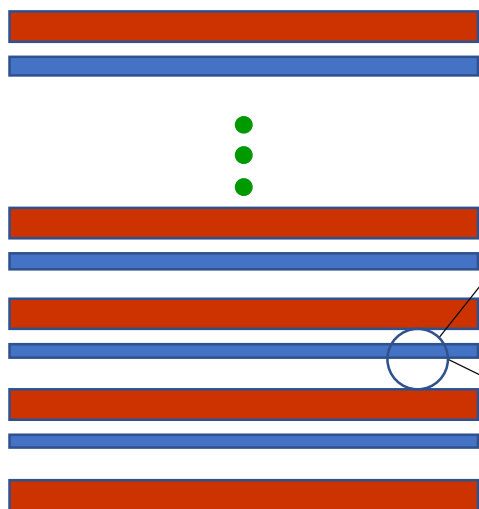
- ◆结构紧凑，符合探测器总体厚度越薄越好，而增益要求越高越稳定越好的应用场合，如强子量能器及低本底实验等。
- ◆低气压下保持较高增益，如用于重离子径迹探测。
- ◆无需猝灭气体，也可以稳定地工作在纯惰性气体中，如用于active target模式下的时间投影室读出。
- ◆其他： μ 子跟踪、大面积紫外光子探测器、X-ray/中子成像等。

即使无需以上要求，在需多层厚GEM的应用场合，使用M-THGEM作为替代的隐藏优势——加工优势：数量减少，机械钻孔数减少，节约加工成本，缩短制作时间周期。

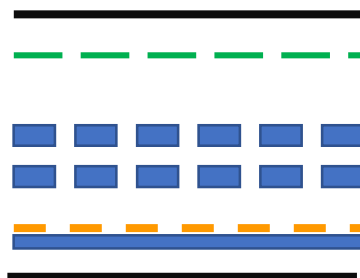
[1]M.Cortesi et al., Review of Scientific Instruments 88, 013303 (2017)

M-THGEM应用前景:

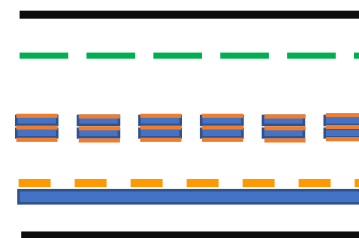
DHCAL/Muon system



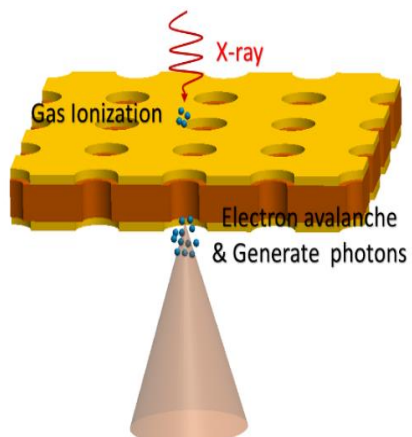
Double-layer
THGEM



M-THGEM

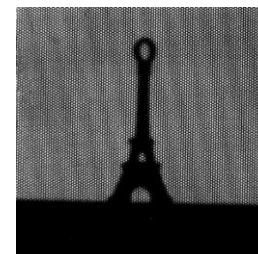
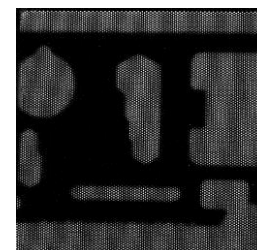
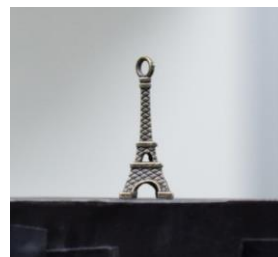
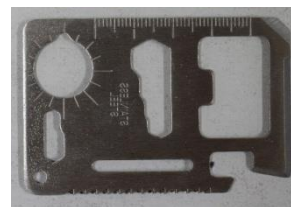
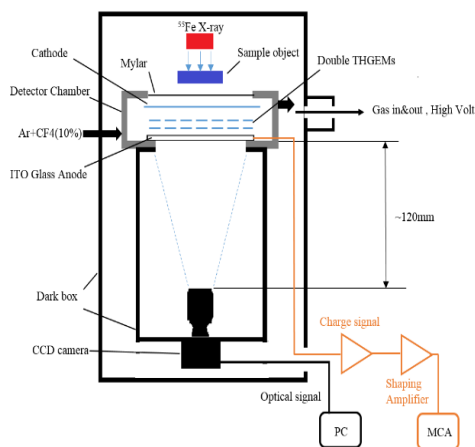


Thinner, cheaper, lower voltage, more stable



CCD读出X射线成像

2018-4-26



2018年核探测与核电子学国家重点实验室年会

总结

基于较成熟的厚GEM制作工艺，M-THGEM第一轮研制取得了比较好的结果：

- 成品率较高；
- 在常用的几种混合气体中均能正常工作；
- 长期增益稳定性较好；
- 工作电压较低

但仍有较大的提升空间：

- 极限增益有待提高（调整绝缘层厚度）；
- 能量分辨能力；

接下来的工作：

- 优化M-THGEM基础性能；
- 完成低气压下的M-THGEM性能测试及优化；
- 完成不同类型基材M-THGEM的制作（FR4、Ceramic、PTFE、Kapton）；
- 完成M-THGEM的大面积制作（ $\geq 500 \times 500 \text{mm}^2$ ）；
- 推广应用。

国重课题：

2017：多层厚GEM（M-THGEM）研制，H929420JTD

2018：大面积M-THGEM研制，SKLPDE-ZZ-201813

感谢国重基金支持！

谢谢大家！