

热压膜Micromegas探测器批量化及大面积制作研究进展及应用

张志永

核探测与核电子学国家重点实验室
中国科学技术大学

第九届全国先进气体探测器会议
中国散裂中子源, 东莞, 2019-10-17

主要内容

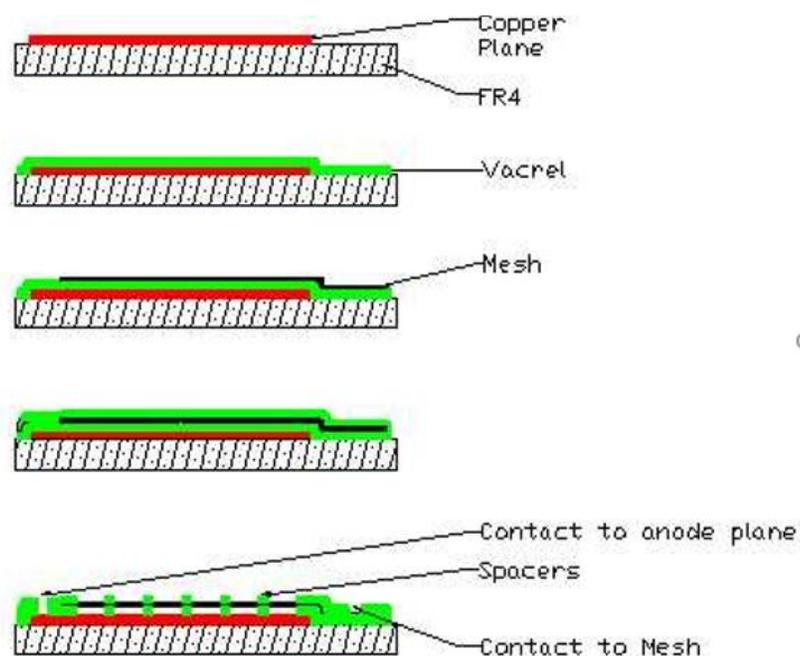
- 热压膜Micromegas制作方法
 - 材料选择及其特性
- 阻性阳极
 - 电子浆料、镀锗薄膜、DLC
- 批量化制作及大面积研制
 - 批量化制作工艺流程
 - 探测器性能
- 热压膜技术及探测器应用
- 总结

热压膜制作方法

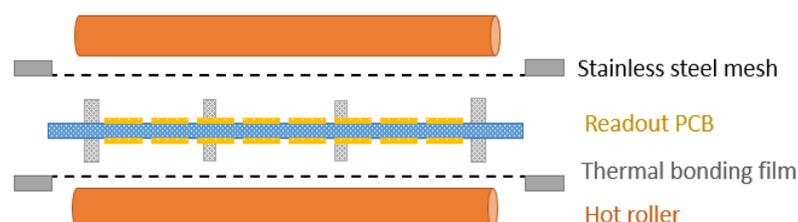
Micromegas:

约100微米雪崩间隙: 快时间, 高计数率, 位置分辨好, 无空间电荷堆积...

Micromegas in a Bulk



Thermal bonding processing

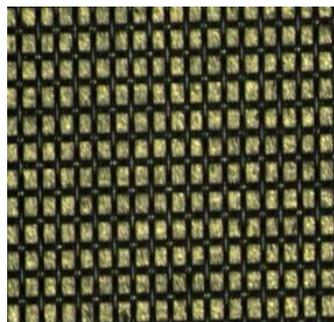


- 无刻蚀, 绿色环保
- 操作简洁
- 容易制作新结构 (DMM, TMM)
- $\Phi 1\text{mm}$ 支撑垫片, 10mm 间距
 - 易于清洗, 对大面积研制很有优势
 - $< 1\%$ 垫片支撑面积

材料选择及其特性



三层结构热粘接薄膜，易获取和加工成各种形状
多种规格可供选择→探测器气隙厚度易调控



规格多样:

厚度: 20-40 μ m, 网丝密度: 260-640 LPI

开窗率: 30-70%, 张力: up to 30N/cm



纯锆蒸发料



石墨靶材

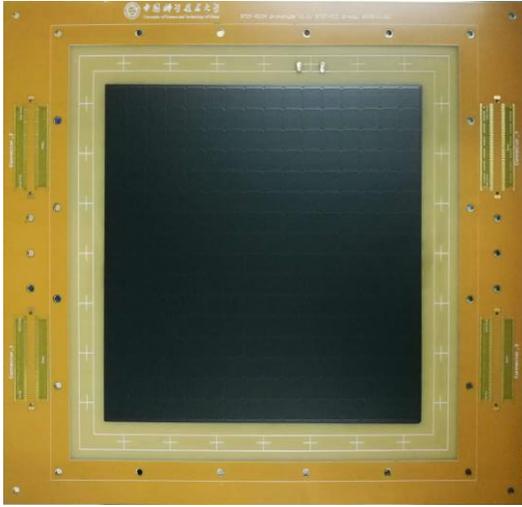
阻性阳极:

- 电子浆料: $k\Omega/\square$ - $200M\Omega/\square$
- 锆膜蒸镀: $M\Omega/\square$ - $200M\Omega/\square$
- 磁控溅射DLC, : $k\Omega/\square$ - $T\Omega/\square$

阻性电子浆料



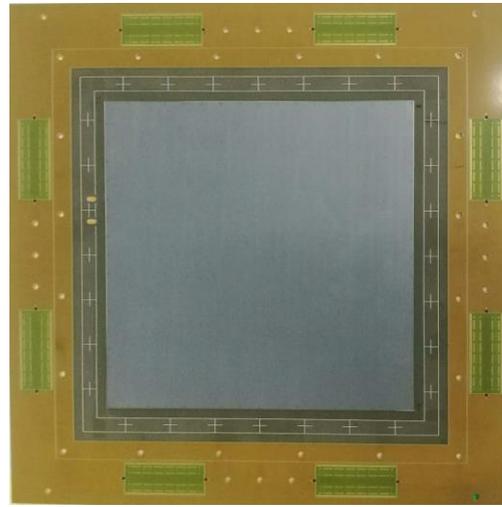
阻性阳极



丝网印刷阻性浆料

10-20 μm 厚度

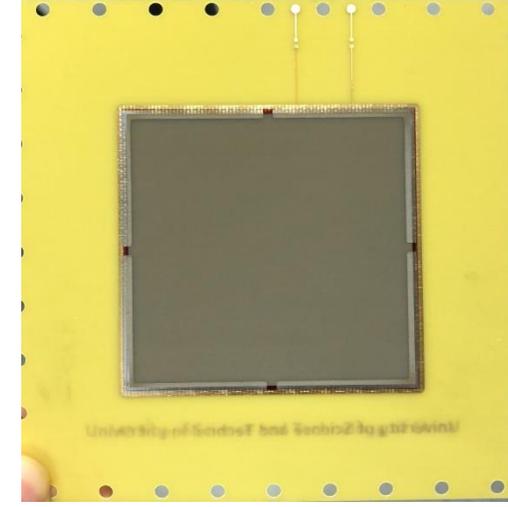
- 复杂的图形
- 大面积制作
- 批量化成本低
- △ 阻值可控性差
- △ 结合力差，打火溅射



真空蒸镀锆膜

0.1-1 μm 厚度

- 阻值易于控制
- 高纯度适宜于低本底实验
- 较大面积
- △ 需干燥保存防止氧化
- ? 辐照损伤和老化待测试



磁控溅射DLC制作:

0.1-1 μm 厚度

- 阻值易于控制
- 阻值稳定性高
- 化学性质稳定可以耐受MPGD制作的腐蚀工艺
- △ 不易于刚性基材的大面积制作

本报告关注电子浆料和镀锆薄膜

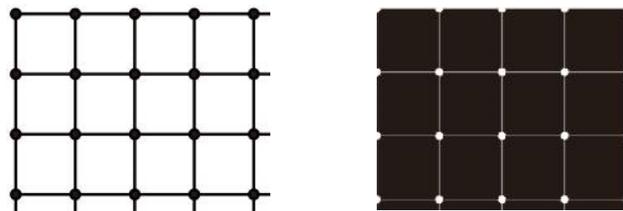
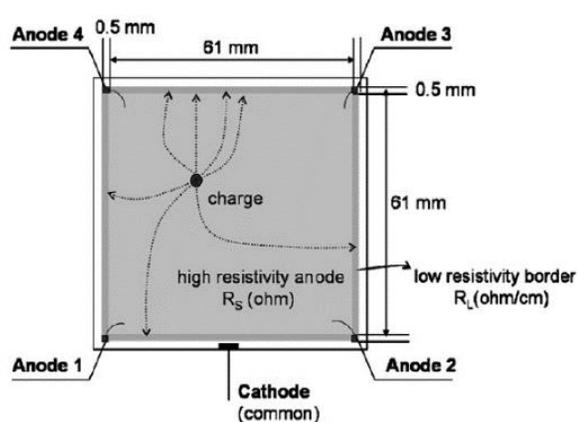
DLC详见尚伦霖，吕游报告

阻性浆料

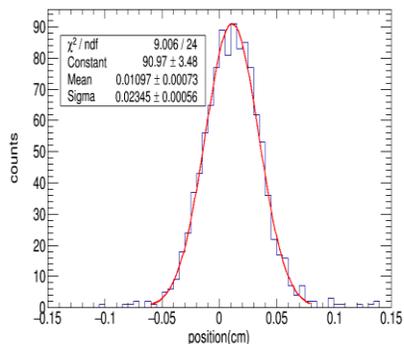
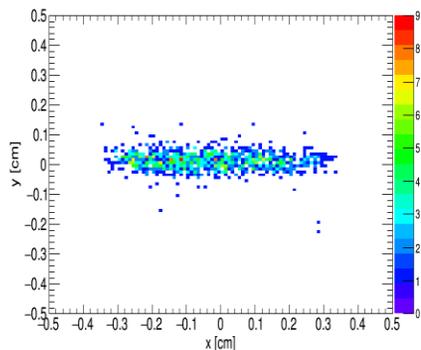
复合型图案制作

为MPGD提供了一种四角读出方案，以较低颗粒度实现高位置分辨。

- 在特定场合如RICH探测器读出具有独特优势



- cell-size: 1cm × 1cm
- Grid with ~1 kΩ/□
- Pads with ~100 kΩ/□

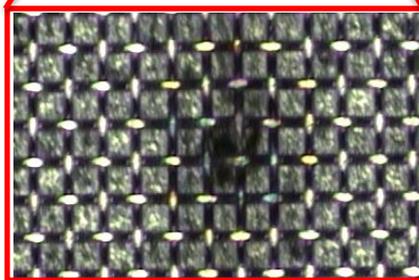
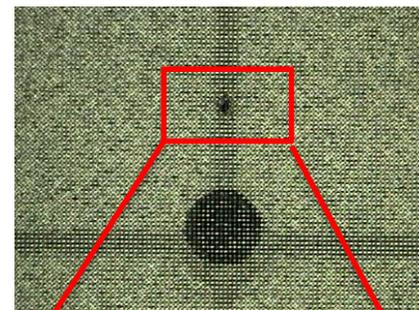


$\text{Sigma} = 235 \mu\text{m}$, 1cm^2
读出像素实现好于 1mm^2
颗粒度的分辨。

Spatial resolution measured with X-rays

棘手的问题:

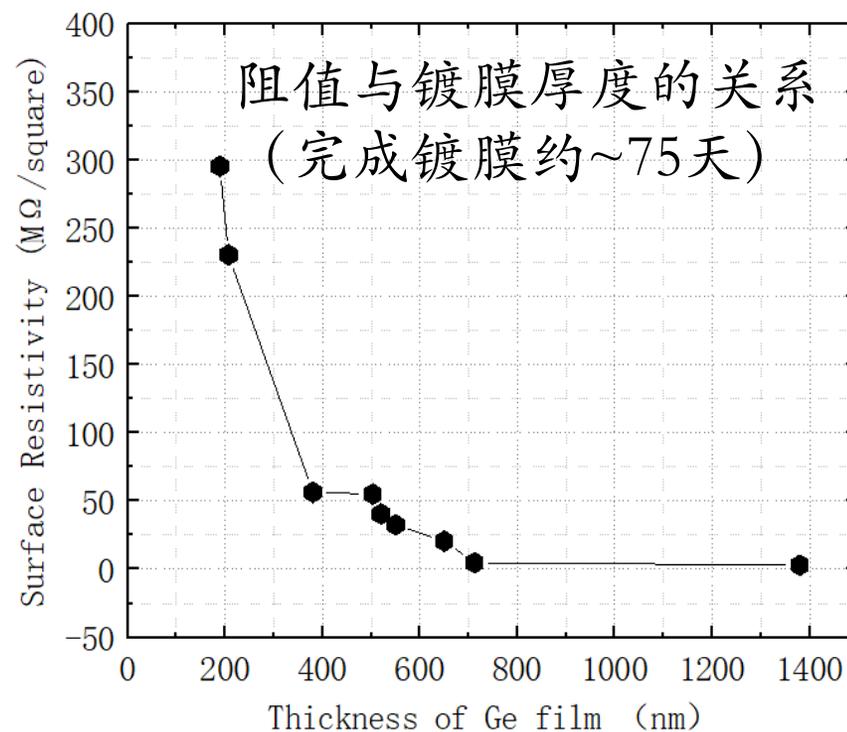
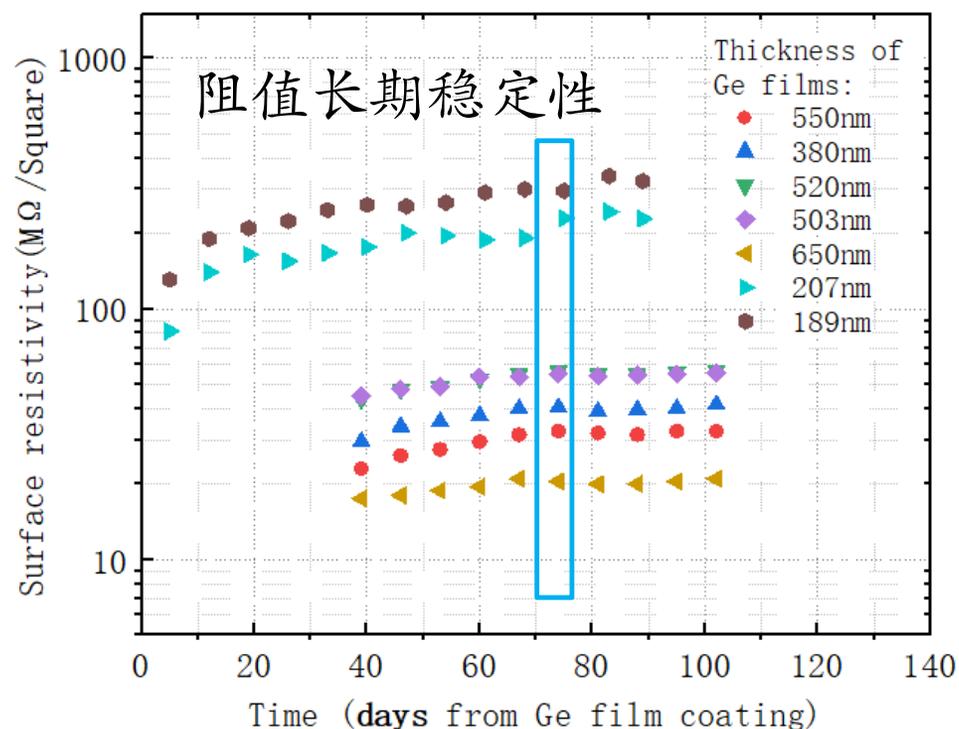
附着力差，打火
引起材料溅射，
不可恢复!



镀锗薄膜

Ge膜面电阻率随镀膜厚度相关性及其长期稳定性:

- ✓ 镀膜基材FR-4;
- ✓ 200 nm 到1500nm厚度;
- ✓ >100天的长期监测 (实验室环境下)
- ✓ 可实现m²量级制作, 400mm × 400mm有效阻值非均一性好于10%



Micromegas批量化研制

◆ 建立热压膜Micromegas批量化生产工艺

研发一套完整的工艺流程，实现 $<200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 批量化制作，并开展更大面积（如 $400\text{mm} \times 400\text{mm}$ ）的制作。

边条预压机

垫片预固定



面积 98m^2

- Micromegas小批量生产
- 大面积批量工艺探索



读出板及探测器存放

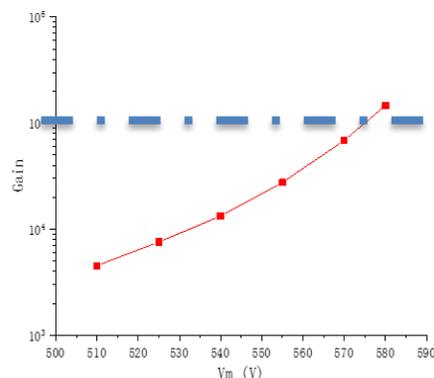
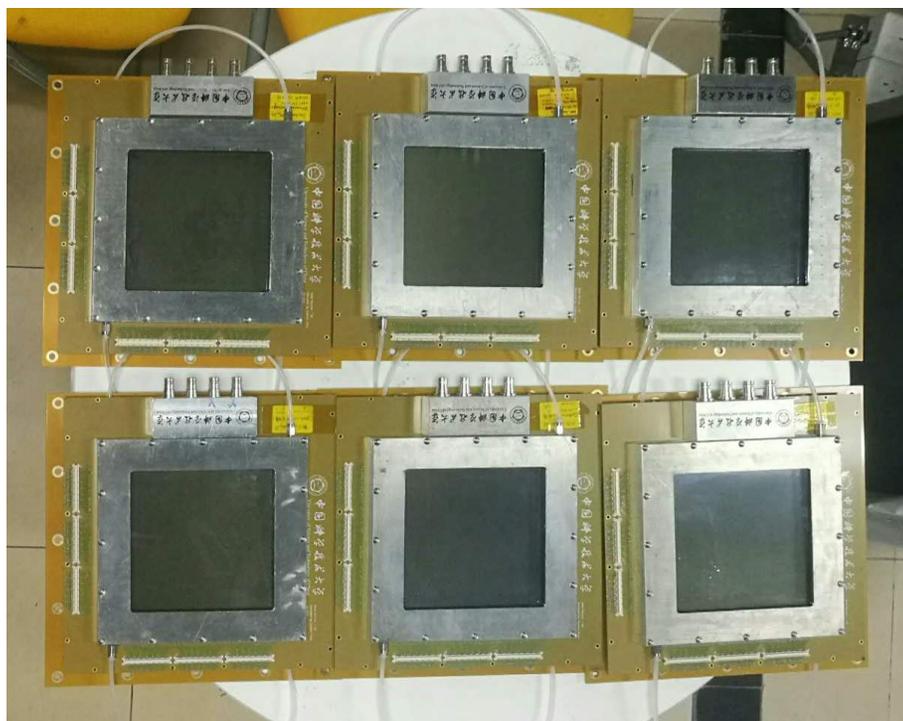
耐压测试

参数测量登记

热压成型

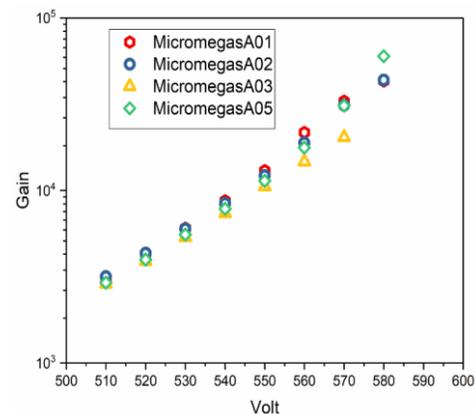
Micromegas批量化研制

◆ Micromegas探测器及性能



287	419	385	386	462	420	319
372	448	449	461	493	434	369
441	525	422	513	562	491	470
478	457	484	509	482	476	443
473	431	472	526	449	501	435
410	503	506	525	491	497	445
409	457	490	452	495	473	414

RMS/Mean = 15%



425	478	561	484	439	471	443
428	516	567	549	474	515	492
423	490	496	527	517	478	441
426	505	492	543	511	479	445
388	458	457	487	479	461	487
403	451	492	472	471	515	452
440	422	472	471	473	516	482

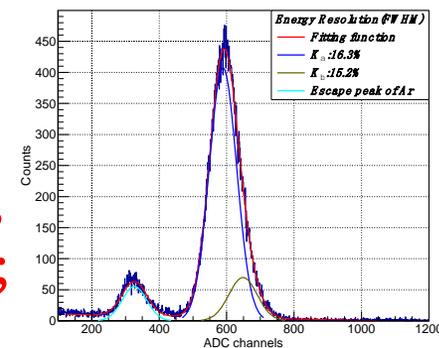
RMS/Mean = 8%

完成两批次探测器制作

□ 6个160mm × 160mm像素读出 (STCF-RICH)

□ 6个150mm × 150mm微条探测器 (径迹探测)

目前所有探测器工作正常: 5.9keV X射线测试, 能量分辨~16%, 增益轻易达到1E4, 部分甚至达到1E5! 增益非均一性好于15%;



Micromegas批量化研制

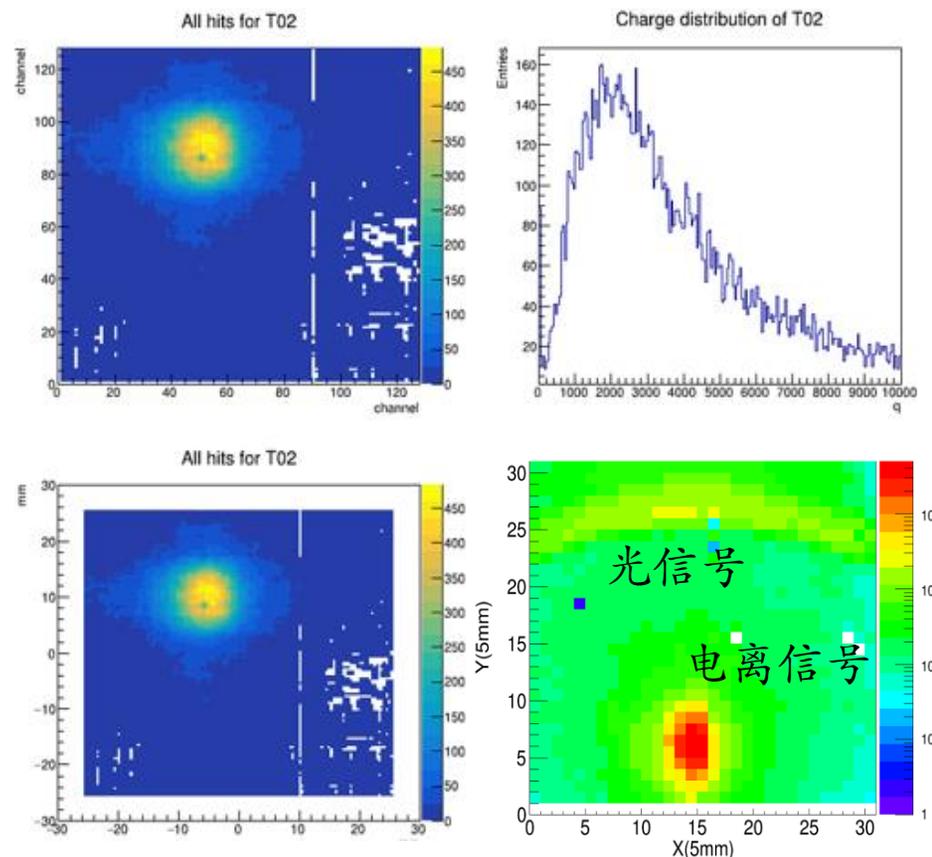
◆ Micromegas探测器束流测试

8个Micromegas探测器与2019年09月在德国DESY进行束流测试，探测器性能良好，工作稳定，验证了批量化工艺的可靠性！



德国DESY束流测试现场

Tracking探测器位置分辨约100微米，效率好于95%

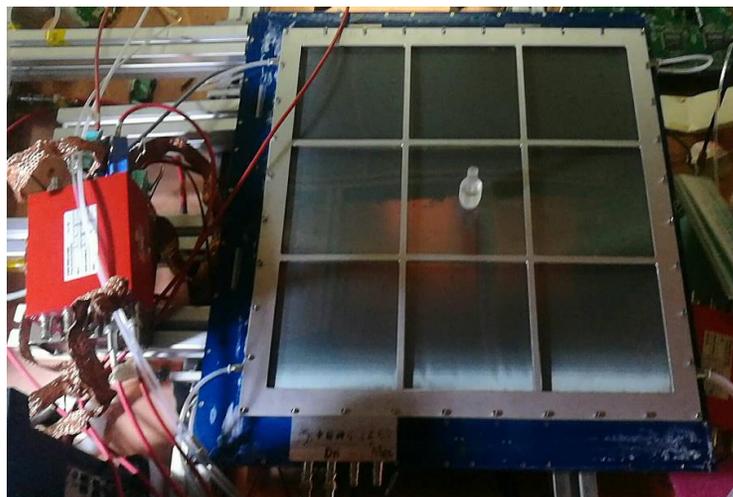
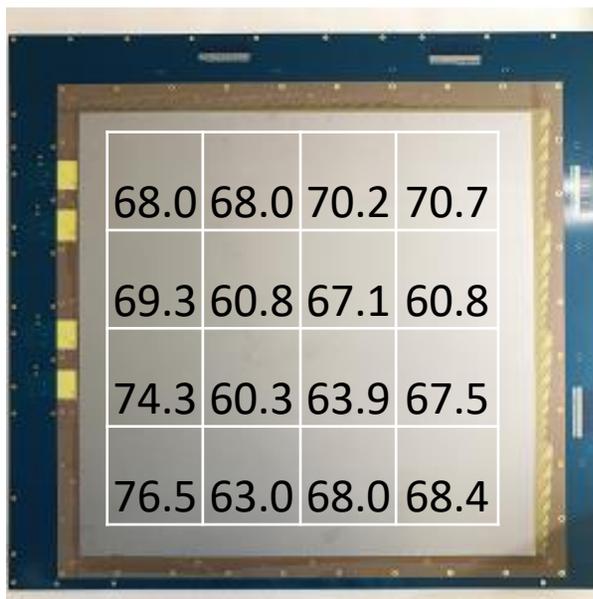


详见刘倩报告

大面积探测器研发

◆ 初步完成较大Micromegas探测器研制

- 400mm×400mm有效面积；
- 镀锗阻性电极500nm，约70MΩ/□；



探测器X-ray测试，增益达到约4000；

发现问题与改进

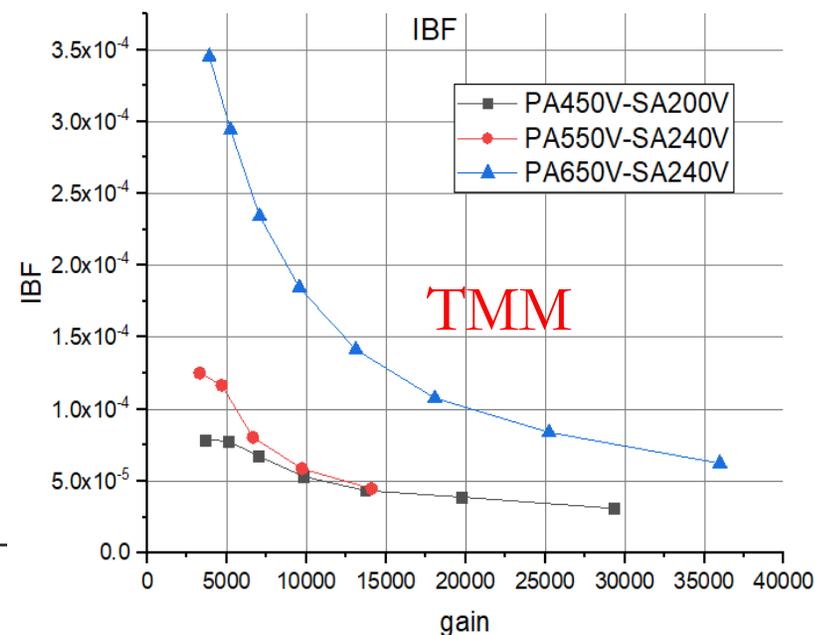
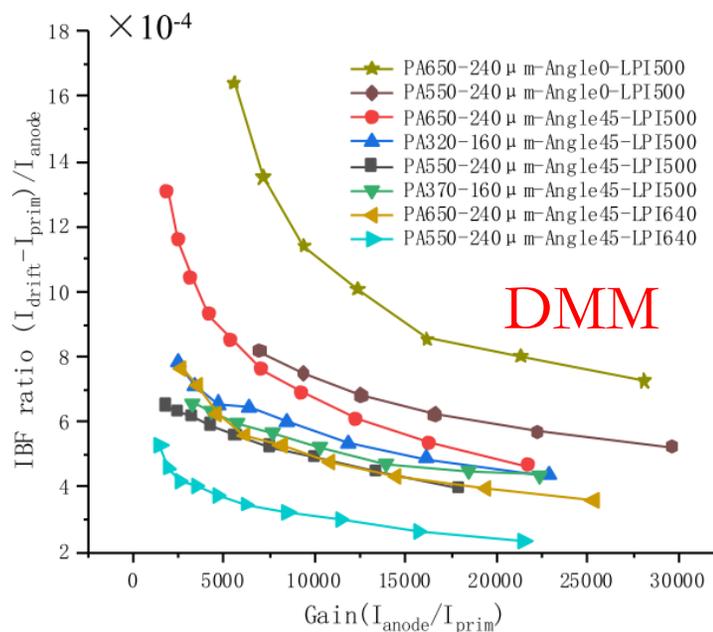
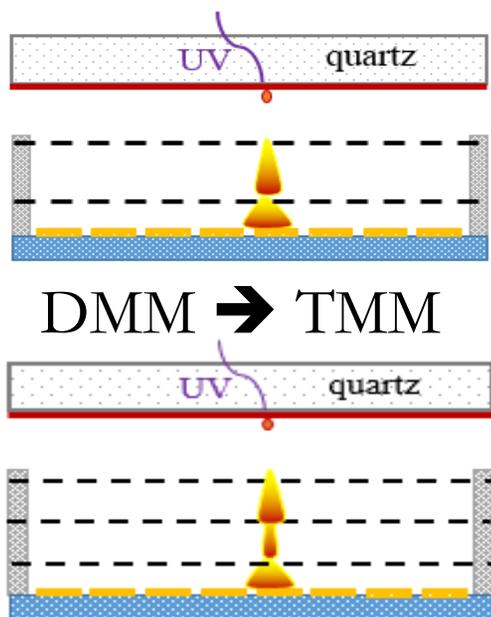
- 大面积镀锗薄膜的氧化→干燥存储
- 读出板强度及信号引出设计缺陷→设计改版中
- 大面积不锈钢网脱落→增加热压强度，采用环氧胶封边
- 此外，控制环境洁净度、提高网张力均一性等都有利于改进探测器性能

热压膜技术及探测器应用

- 高增益、极低离子反馈探测器结构研发
 - 研制和优化双层网探测器 (DMM) 及三层微网探测器 (TMM)
- 应用于科学实验:
 - 中国散裂中子源中子束流监测, 并继续开展其TPC读出研制
 - CEPC&STCF 粒子鉴别RICH探测器预研究光电读出方案 (THGEM+Micromegas, DMM)
 - 应用于缪子成像研究
 - 其他应用前景: 低本底TPC实验、高计数率TPC、可见光gasPMT
...

极低离子反馈的多层微网探测器研制

- DMM 优化: Low IBF : $<0.03\%$, High gain up to 3×10^6 for S.P.E.
- TMM研制: 达到 $\sim 0.003\%$ 极低的IBF, 现有MPGD 报导的最低值!



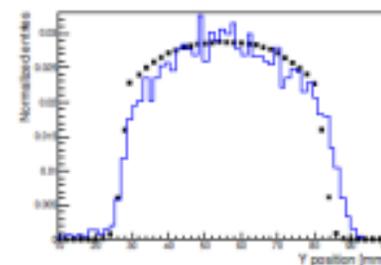
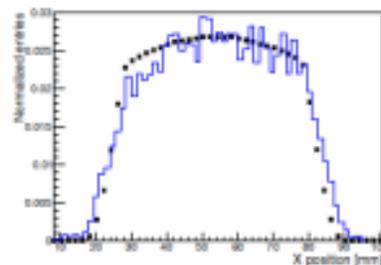
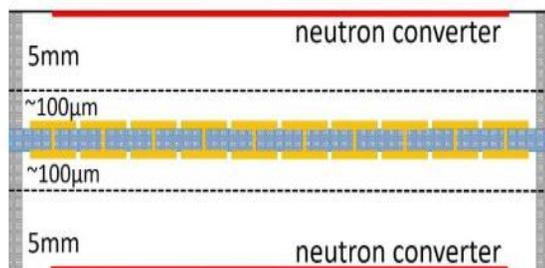
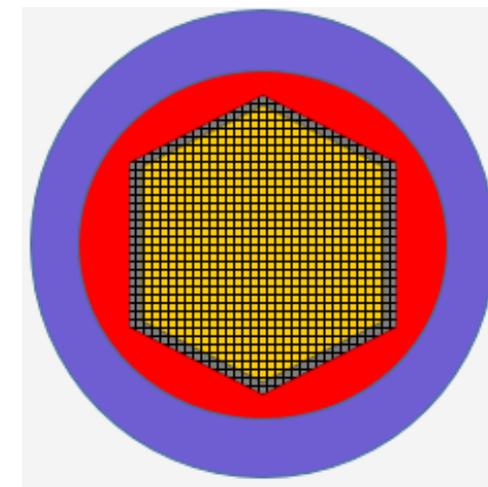
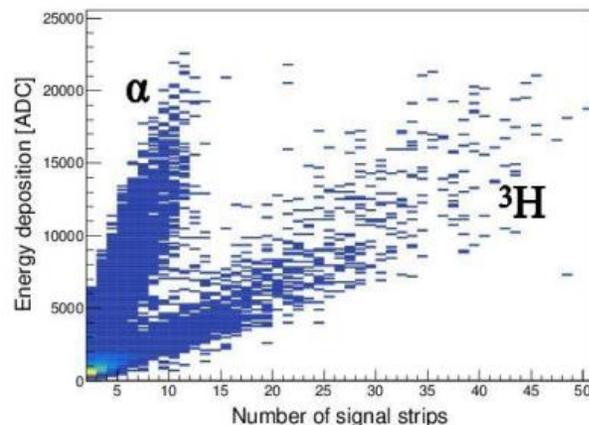
在GPMT和高计数率TPC研究中具有极强的应用前景!

A high-gain, low ion-backflow double micro-mesh gaseous structure for single electron detection, *NIM-A*, 889 (2018) 78–82.
 Study on the double micro-mesh gaseous structure (DMM) as a photon detector, <https://doi.org/10.1016/j.nima.2019.03.033>

详见梁焜玉报告

中国散裂中子源束流监测器及TPC探测器

基于Micromegas的中子束流监测探测器



Projection on X

Projection on Y

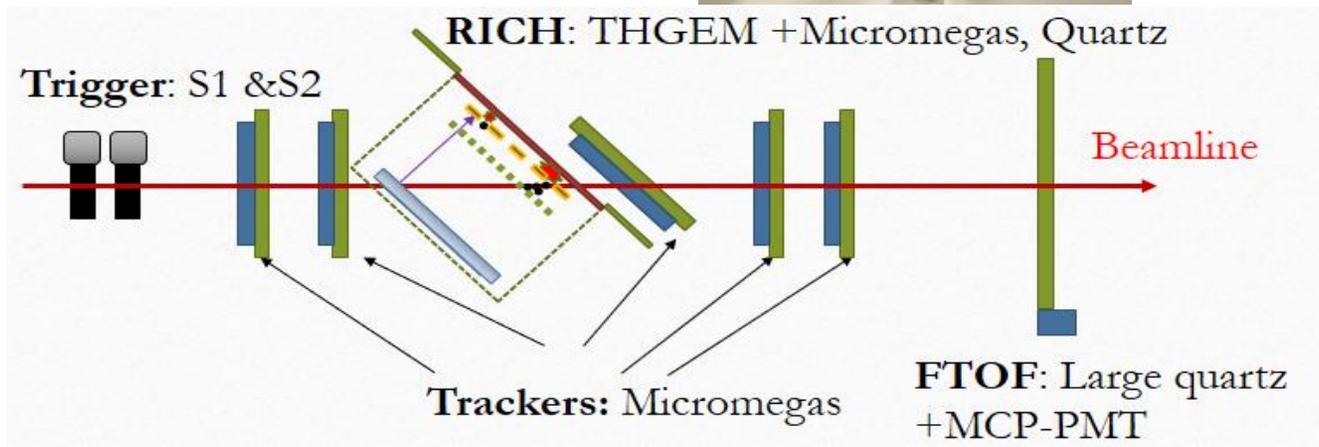
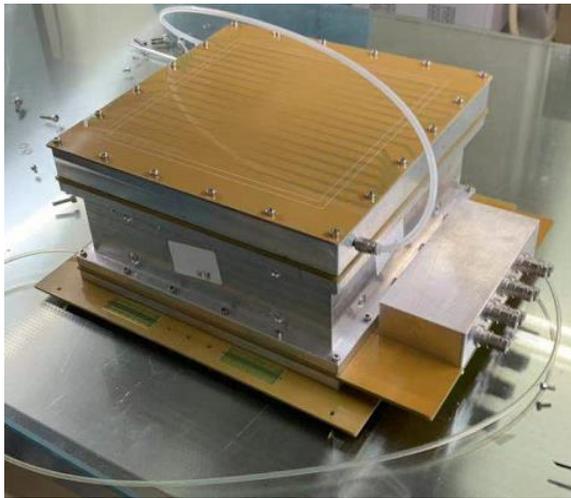
在 CSNS 上首次实现两维束斑测量

Micromegas 读出
TPC 设计 (进行中)

中科大参与负责: Micromegas 探测器及 AGET 电子学系统研制

用于未来电子对撞机实验预研

未来超级陶粲装置 (STCF) 粒子鉴别探测器预研:
MPGD-based 光电探测器



STCF-RICH: 详见

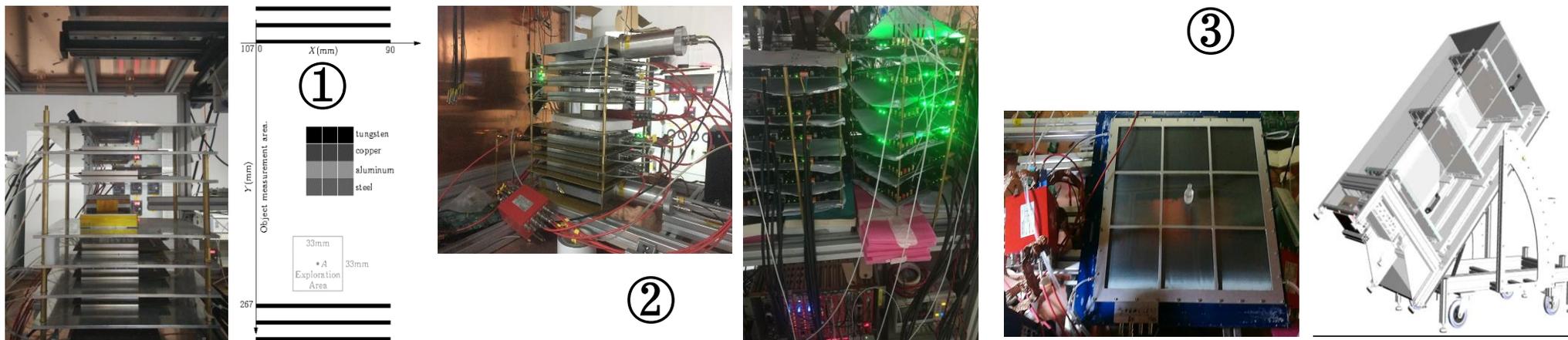
刘倩报告

紧凑型RICH研究:

见丰建鑫报告

缪子成像研究

- ◆ 4层 100mm×100mm 1D Micromegas + APV25电子学望远镜 (2016) 扩展到6层 (2018)
- ◆ 6层 150mm×150mm 2D读出Micromegas + AGET电子学 (2019年)
- ◆ 基于400mm×400mm 2D 读出Micromegas 和AGET通用电子学搭建系统 (建设中)。



中科大：探测器及AGET电子学系统、模拟及成像算法

安徽大学：模拟及成像算法

南华大学：探测器系统搭建、模拟成像算法

学生短期交流：安徽大学本科生1名暑期2个月，南华大学研究生1名4个月

见文群刚、魏鑫报告

总结

- 热压膜Micromegas探测器制作技术
 - 无刻蚀、实验室可操作、灵活度高；支撑间距大，易于清洗，大面制作有优势
 - 完成小面积探测器 ($<200\text{mm} \times 200\text{mm}$) 批量化制作工艺，结合科大电子学，可以为相关科研需求，提供探测器加电子学系统的一站式解决方案！
 - 大面积探测器制作及批量化正稳步推进，尚没有遇到不可克服的瓶颈。
- 应用于新型MPGD研发和科学实验研究
 - 开发多层微网等新型探测器结构，X-ray测试实现0.003%的极低IBF和 $7E4$ 的高增益
 - 研制中子束流监测器应用于中国散裂中子源，并进一步研制TPC读出。
 - MM、DMM 作为未来对撞机实验 (CEPC、STCF) 的粒子鉴别探测器预研
 - 用于缪子成像研究
 - 其他相关：低本底TPC实验、高计数率TPC、可见光gasPMT …

总结

- 热压膜Micromegas探测器制作技术
 - 无刻蚀、实验室可操作、灵活度高；支撑间距大，易于清洗，大面制作有优势
 - 完成小面积探测器 ($<200\text{mm} \times 200\text{mm}$) 批量化制作工艺，结合科大电子学，可以为相关科研需求，提供探测器加电子学系统的一站式解决方案！
 - 大面积探测器制作及批量化正稳步推进，尚没有遇到不可克服的瓶颈。
- 应用于新型MPGD研发和科学实验研究
 - 开发多层微网等新型探测器结构，X-ray测试实现0.003%的极低IBF和 $7E4$ 的高增益
 - 研制中子束流监测器应用于中国散裂中子源，并进一步研制TPC读出。
 - MM、DMM 作为未来对撞机实验 (CEPC、STCF) 的粒子鉴别探测器预研
 - 用于缪子成像研究
 - 其他相关：低本底TPC实验、高计数率TPC、可见光gasPMT …

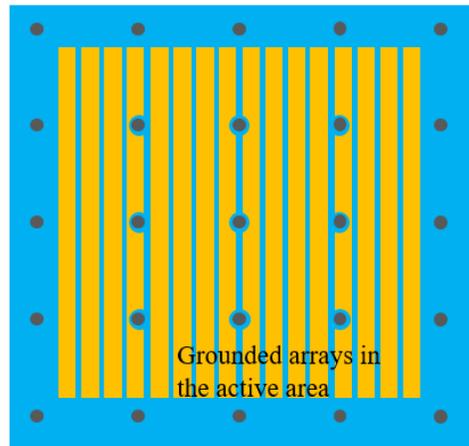
谢谢！

Backup slides

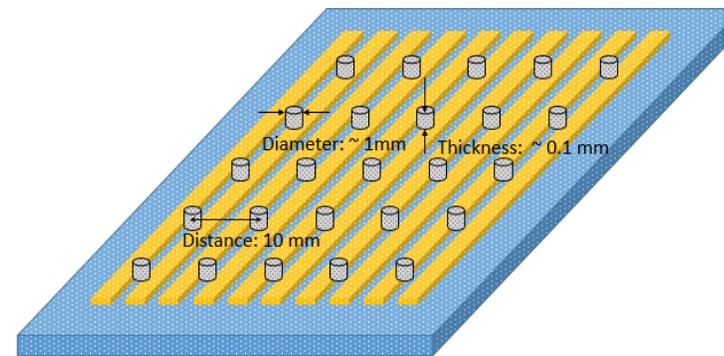


Towards large area

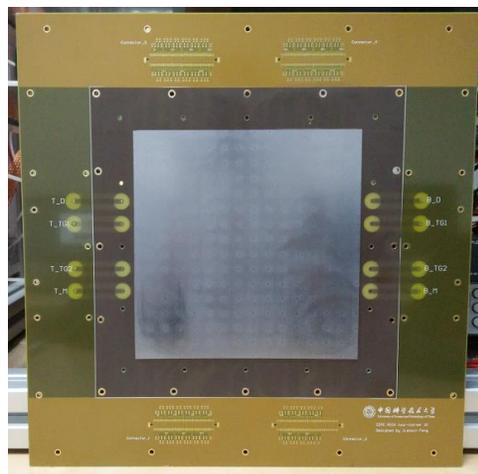
Grounding at edge is not enough when going to large area



Multi-point grounding

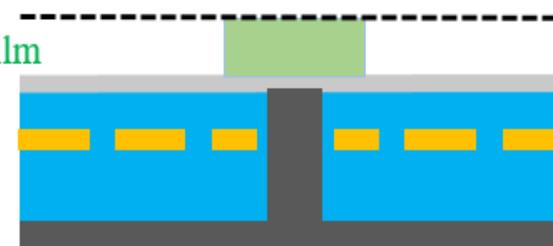


To cover the grounding point with the thermal bonding spacers



Thermal bonding film
spacer ϕ 1mm

Grounded pillar
< ϕ 0.5mm

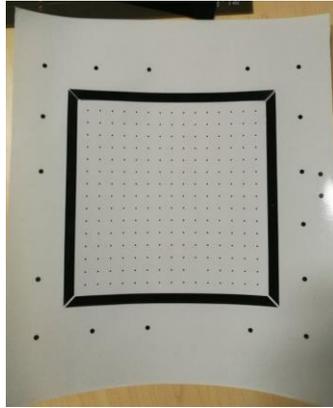


Mesh
Ge film
Readout strips
PCB board

A 160mm \times 160mm readout PCB is manufactured using this method, will be validated soon.

Micromegas批量化研制 (Ge Anode)

◆ 工艺流程

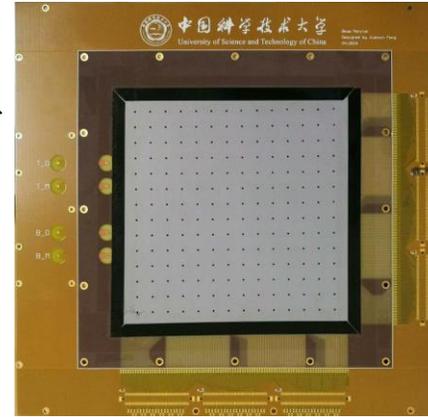
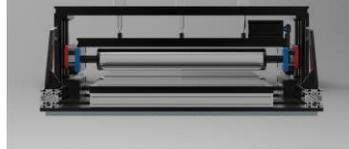


激光切割制作支撑垫片

预加热将支持垫片转
移到读出PCB上

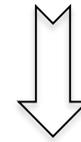


A hot roller

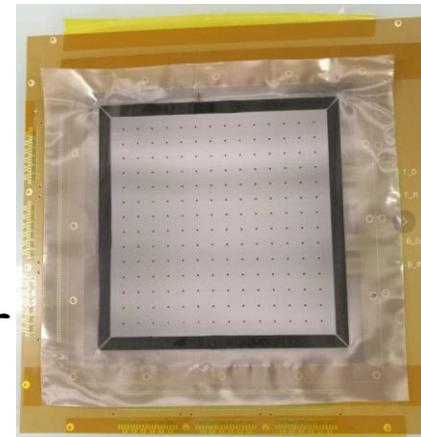
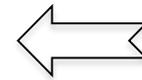


- $\Phi 1\text{mm}$ 支撑片
- 10mm 间距

热压制作



裁减丝网并
组装



组装成型

