

中科大热压接工艺Micromegas 研究的新进展

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, 合肥

主要内容

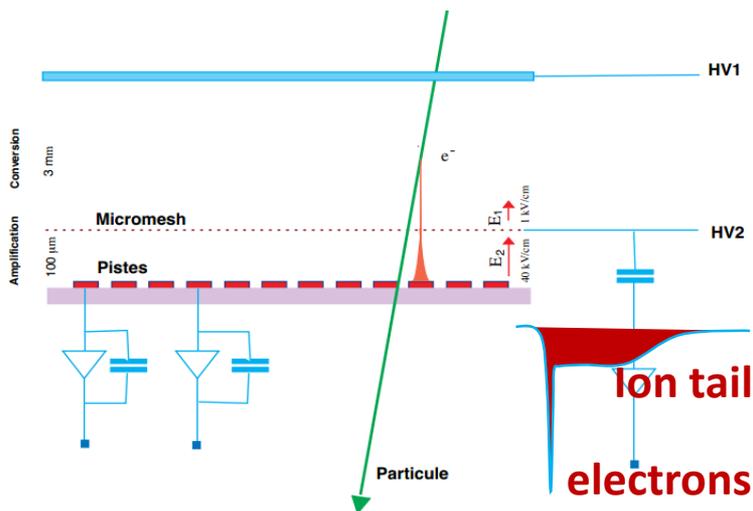
Micromegas 原理

热粘接工艺Micromegas的研制

- 热粘接工艺流程
- 背靠背双雪崩结构位置灵敏探测器
- 200X600 mm²探测器研制

小结

Micromegas 基本原理



~100μm 雪崩气隙:

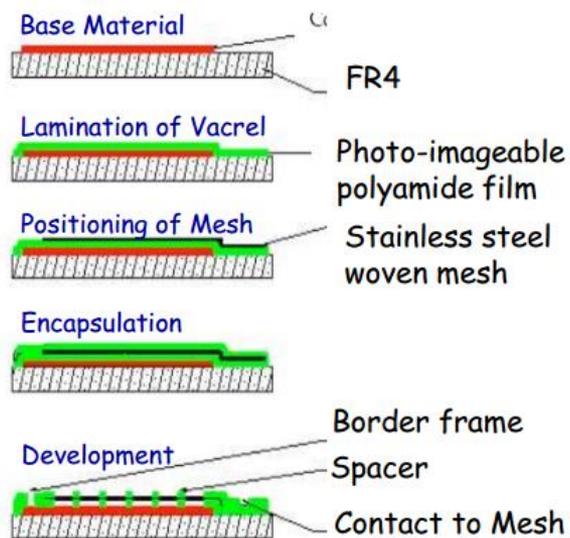
- 低空间电荷效应->高计数率;
- 窄的雪崩簇团->非常好的空间分辨率;
- 强电场->非常高的气体放大增益;
- ...

Y. Giomatris, et al., *MICROMEGAS: a high-granularity position-sensitive gaseous detector for high particle-flux environments*, 1996 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 376 29-35.

Y. Giomatris, *Development and prospects of the new gaseous detector "Micromegas"*, 1998 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 419 239-250

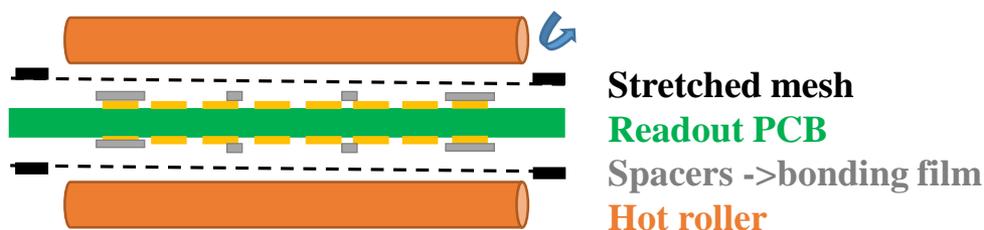
Bulk vs 热粘接方法

Bulk 流程 (Saclay, CERN):



好的均匀性, 低的支撑面积...

热粘接(USTC):



结构简洁, 无刻蚀对环境无污染, 易于发展成更多的新结构, 更好的能量分辨, 更便宜 ...

研究的重点:

- 阻性阳极
- 提高均匀性, 发展大面积
- 减小支撑面积
- 新结构的探索...

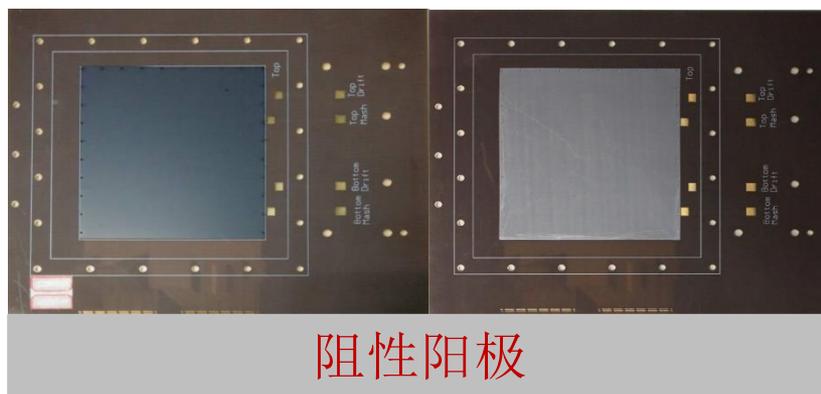
热粘接Micromegas材料和加工



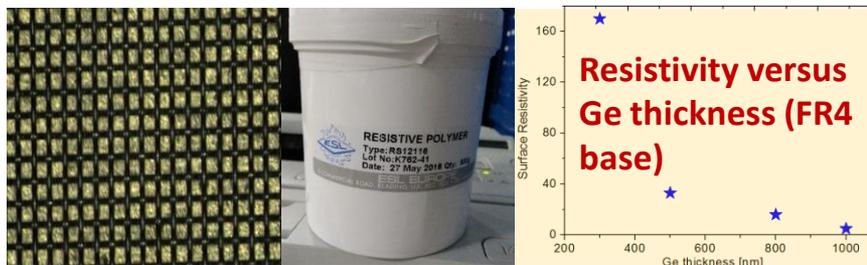
编织丝网：
丝径：22.5um
网厚：45um
目数：350 LPI
开窗比：~50%

New:
丝径：13um
网厚：26um
目数：590LPI
开窗比：50%
最大张力：30N

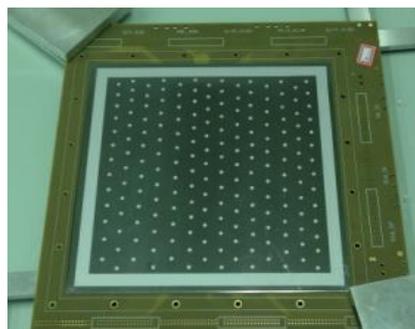
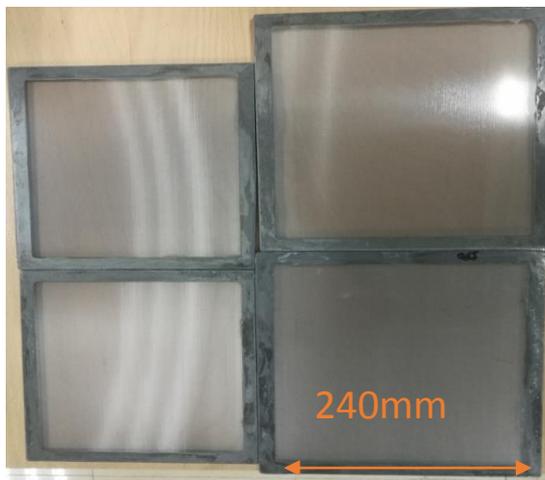
热熔胶+绝缘层+热熔胶三层结构；商业化产品，多种规格可选；粘接牢固，长期稳定性好，高绝缘性。



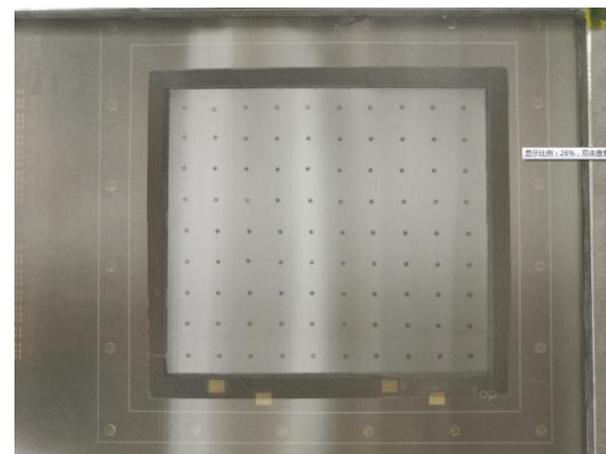
碳浆料丝网印刷 $k\Omega/\square$ - 高纯锗蒸镀
 $100M\Omega/\square$ $M\Omega/\square$ - $100M\Omega/\square$



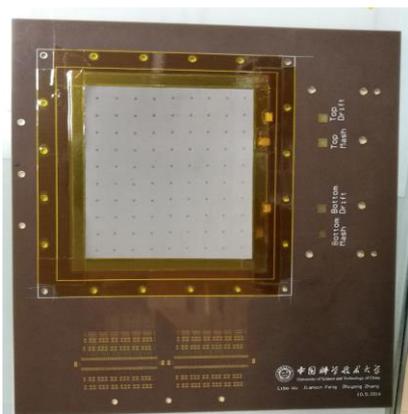
热粘接Micromegas研制流程



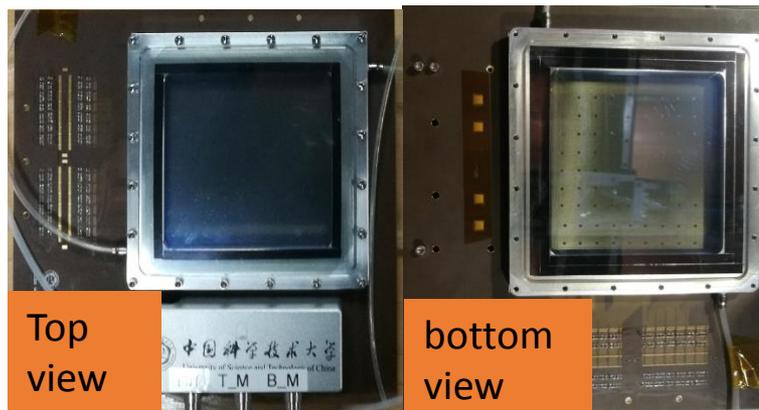
胶膜支撑的排布



热粘接

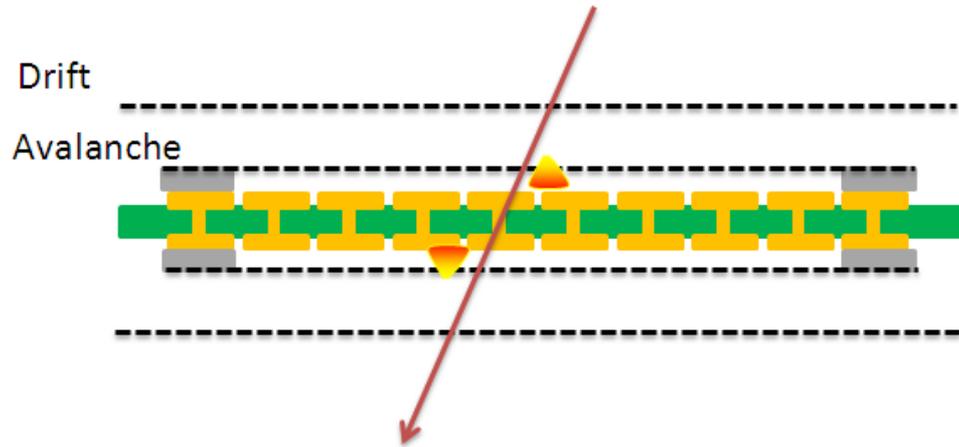


热压接完成



探测器高压气室组装

双雪崩背靠背结构探测器研制

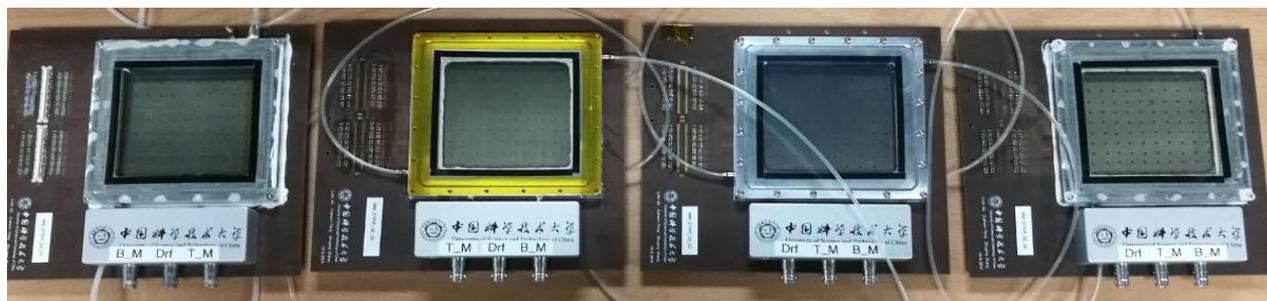


- 上下读出条连通，利用双次雪崩，有望得到更好的效率和时间特性；
- 可作为x-y读出，降低探测器的总厚度及物质的量；
- 可作为 4π 接收度的X射线成像和电荷收集探测器；

本课题将利用多层探测器组合，搭建宇宙线测试系统，研究探测器的位置分辨等性能；

背靠背双雪崩探测器

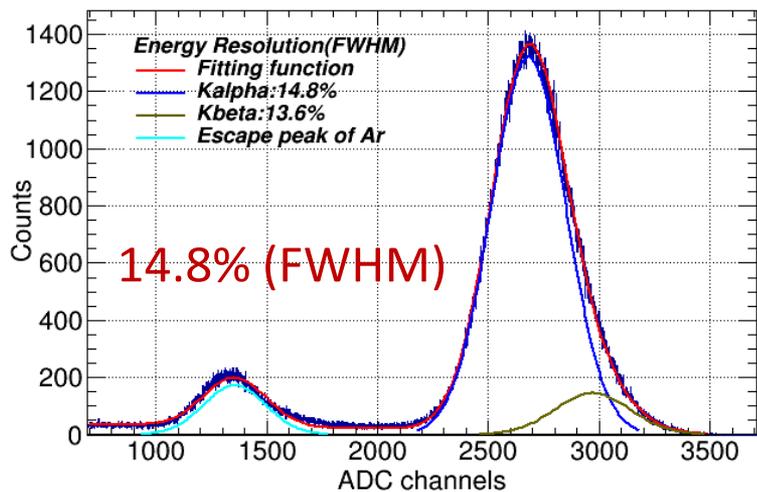
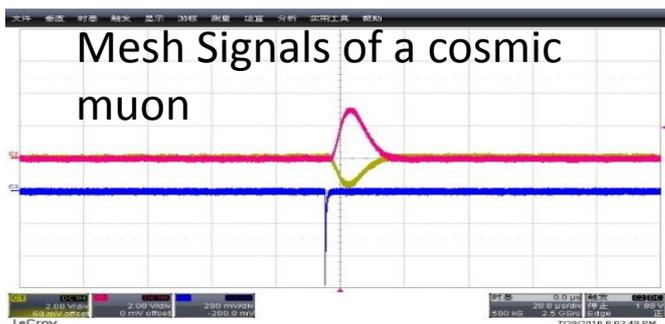
灵敏面积：
10cm*10cm
条间距：
412um



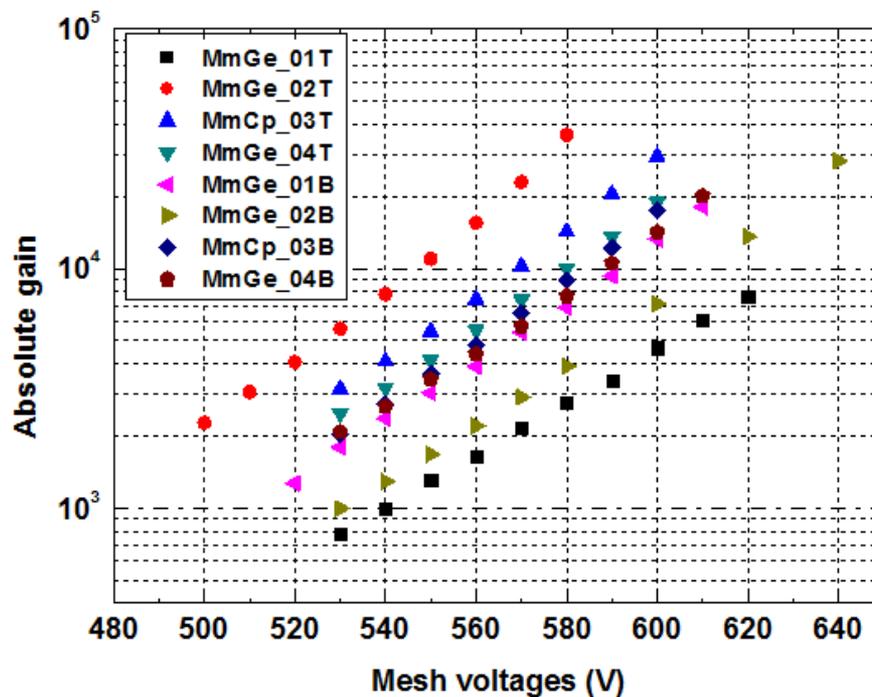
编号	Mm_Ge_01	Mm_Ge_02	Mm_Cp_03	Mm_Ge_04
Resistive anode	Ge 100nm/200nm	Ge 300/500 nm	Carbon paste ~20um	Ge 800/1000nm
Surface resistivity	-- --	165MΩ/□ , 35MΩ/□	0.9MΩ/□ , 0.8MΩ/□	10MΩ/□ , 5MΩ/□
Mesh (Stainless steel)	350IPL, dia23 um (48um,国产)	400IPL, dia19 um (29um,日本轻轧)	400IPL, dia19 um (29um, 日本轻轧)	325IPL, dia23 um (31um, 日本轻轧)
Tension	20-23 N/cm	22-24 N/cm	22-24 N/cm	22-24 N/cm

支撑结构: Φ 1.5mm, 间距10mm (bulk工艺为0.2-0.4mm, 2mm间距)
支撑面积: 1.8%;

探测器基本性能测试



四个背靠背Micromegas，八个雪崩结构的有效增益。

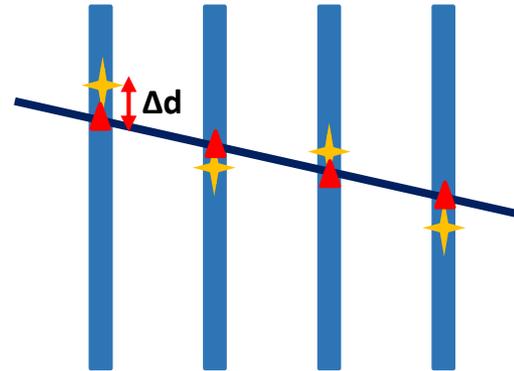


利用宇宙射线研究探测器位置分辨

- 基本方法

$$\sigma^2(\Delta d) = \sigma^2(d_{mes}) + \sigma^2(d_{track})$$

$$\frac{\sigma(d_{mes})}{\sigma(\Delta d)} = 1 / \sqrt{1 + \frac{\sigma^2(d_{track})}{\sigma^2(d_{mes})}}$$



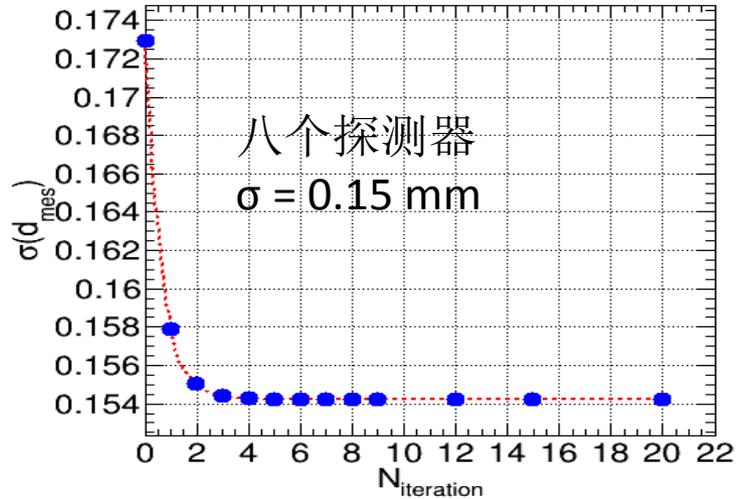
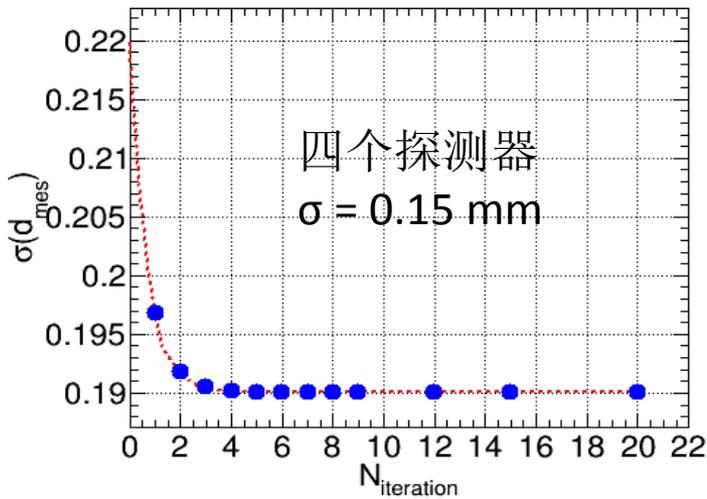
$$\Delta d_{mes} \quad \leftarrow \boxed{\Delta d'} = \Delta d \frac{\sigma(d_{mes})}{\sigma(\Delta d)} = \Delta d / \sqrt{1 + \frac{\sigma^2(d_{track})}{\sigma^2(d_{mes})}}$$

Diagram illustrating the relationship between Δd_{mes} , $\Delta d'$, and $\sigma(d_{mes})$. A blue arrow points from Δd_{mes} to $\Delta d'$, and another blue arrow points from Δd_{mes} to $\sigma(d_{mes})$. A third blue arrow points from $\sigma(d_{mes})$ to the denominator of the fraction in the equation.

利用宇宙射线研究探测器位置分辨

- 模拟分析

$\sigma(d_{mes})$ 随迭代次数变化



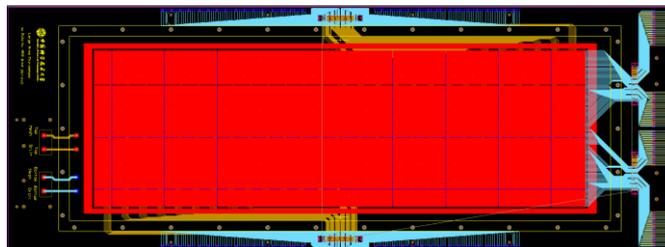
Det1: 0.230mm
Det2: 0.159mm
Det3: 0.161mm
Det4: 0.228mm

Det1: 0.168mm
Det2: 0.152mm
Det3: 0.152mm
Det4: 0.147mm
Det5: 0.151mm
Det6: 0.151mm
Det7: 0.148mm
Det8: 0.161mm

200x600 mm²探测器研制

- 完成：
 - 读出PCB设计
 - 大面积丝网制作
 - 气体密封机械设计和加工

PCB设计~300 x700 mm²



机械设计加工



- 进行中：
 - 读出PCB投板
 - 阻性研究的大面积丝网印刷工艺试验
 - 大面积热压接工艺



大面积丝网拉伸，
尺寸可以达到几米；

小结

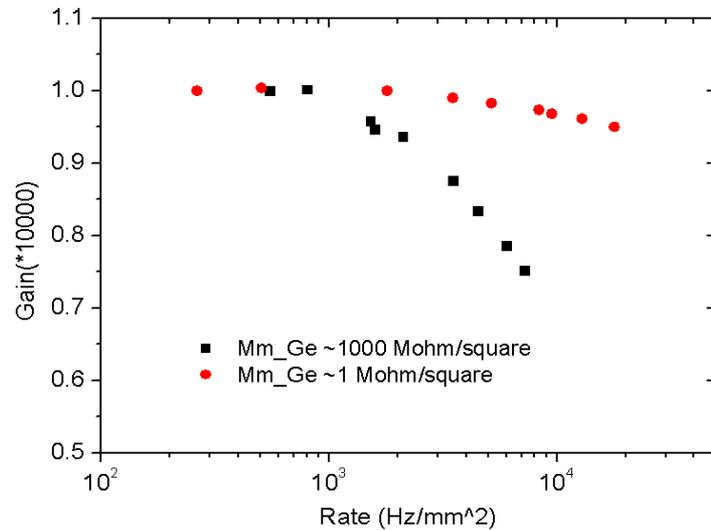
- 进一步改进了研制工艺,可以有效完成良好能量分辨率 ($<15\%$) , 高于10000的增益的Micromegas探测器的研制;
- 完成了四个背靠背双雪崩结构micromegas的研制, 并测试了其基本性能;
- 初步研究了利用宇宙射线测试探测器位置分辨的方法;
- 开展了一些新结构尝试和研究:
 - ➔ 利用四角读出方法, 实现了好于 250 um x-y 2D 位置分辨 ($1\text{cm} \times 1\text{cm pad}$) ;
 - ➔ piggyback结构探测器的研制, 得到高于 50000 增益和可观测的快电子信号;
- 下一步工作:
 - ➔ 搭建宇宙线测试系统, 研究双雪崩结构探测器性能, 包括探测器效率, 位置分辨, 时间分辨等;
 - ➔ 大面积探测器研制;

感谢国家重点实验室连续两年自主课题
的资助！

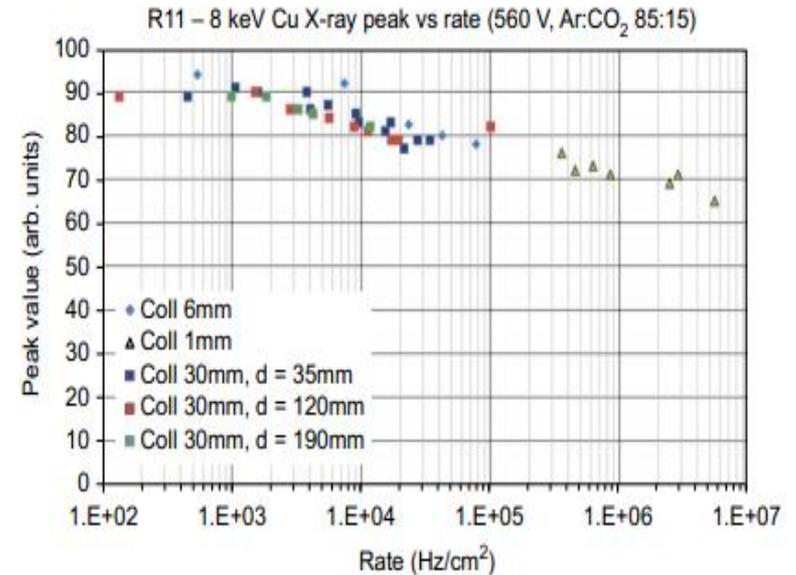
谢谢！

Backup slides 

» Rate capability



Chamber	Resistance to ground R1 (MΩ)	Resistance along strip R2 (MΩ/cm)	Equivalent surface resistivity R2 (MΩ/□)
R11	15	2	0.030
R12	45	5	0.075
R13	20	0.5	0.0075



T. Alexopoulos, et.al., *A spark-resistant bulk-micromegas chamber for high-rate applications*, 2011 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 640 110–118.