

极高时间分辨Micromegas探测器 研究进展

刘建北

核探测与核电子学国家重点实验室

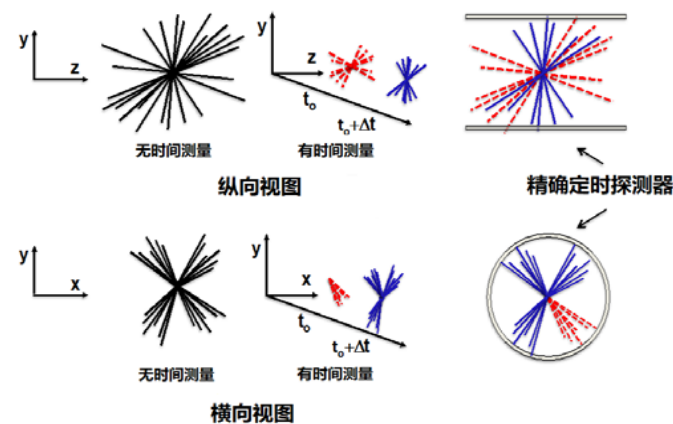
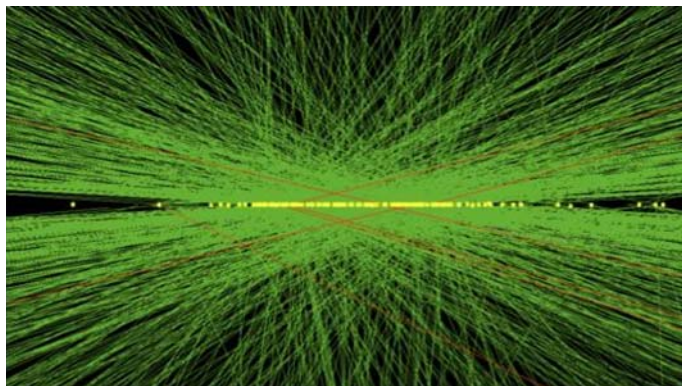
中国科学技术大学

核探测与核电子学国家重点实验室年会

2019-4-23

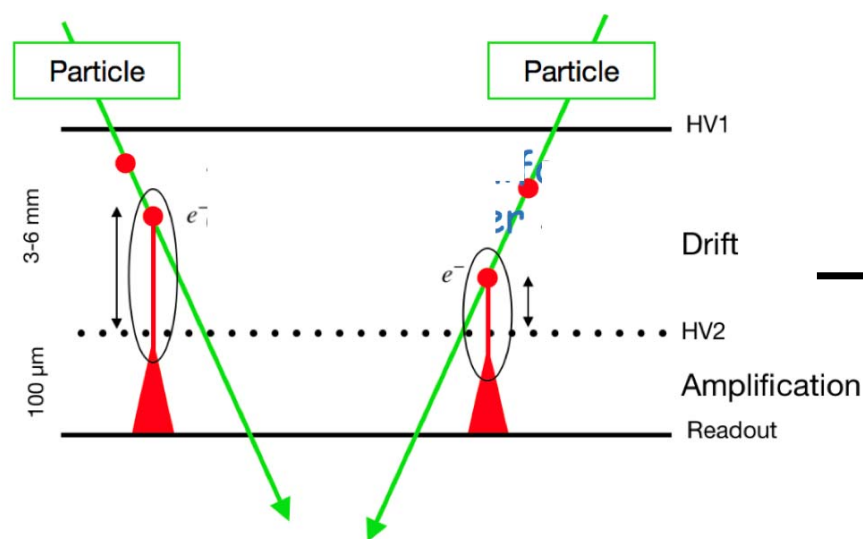
前言

- 高计数率环境下对带电粒子进行精确定时是下一代强子对撞机实验上的一项重要探测需求。
 - 抑制堆积效应的影响
- 相关技术研发成为LHC实验升级中的一个热点（时间分辨 $\sim 30\text{ps}$ ）
 - ATLAS-LGAD
 - CMS-MTD

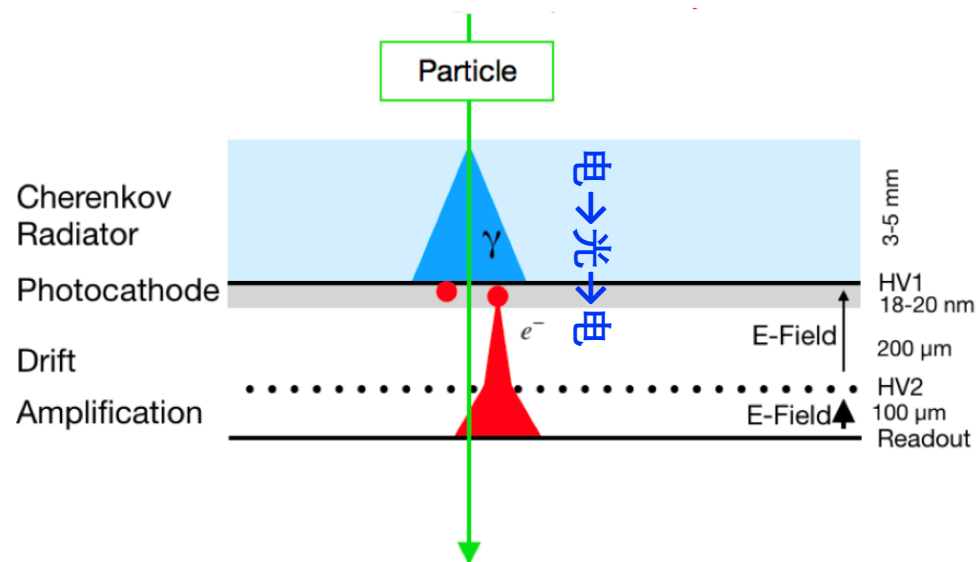


高计数率快速定时：皮秒Micromegas概念

- Micromegas：抗辐照，高计数率
- 时间分辨制约因素：原初电离位置统计涨落 $\rightarrow \sigma_t = \lambda/v \sim \text{几个ns}$



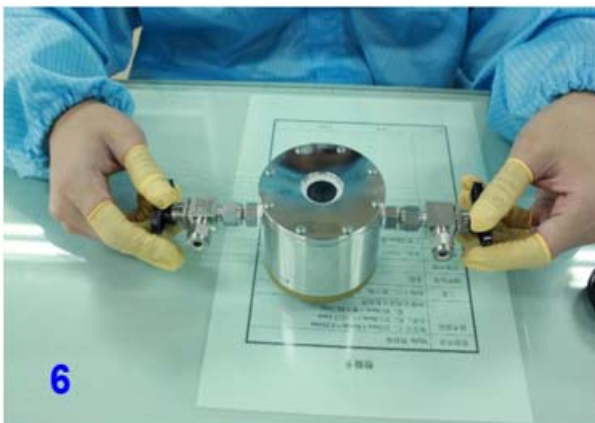
常规Micromegas



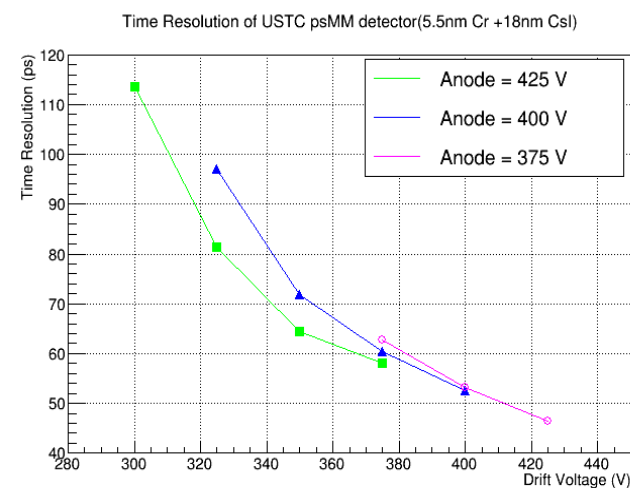
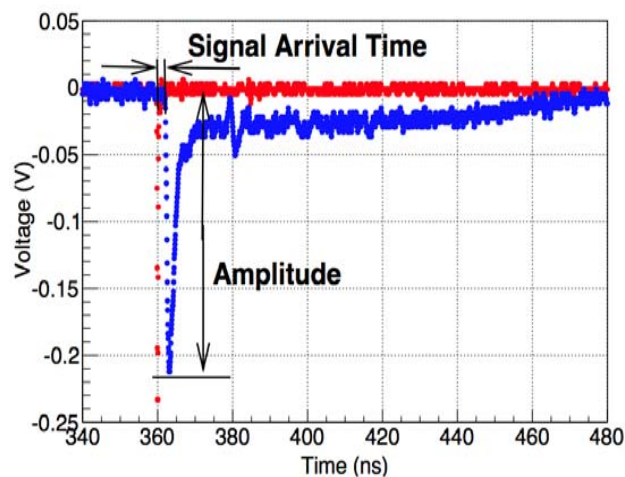
皮秒Micromegas

契伦科夫+光阴极+MM $\rightarrow$ 消除原初电离位置涨落的影响

工作基础：单通道原理样机



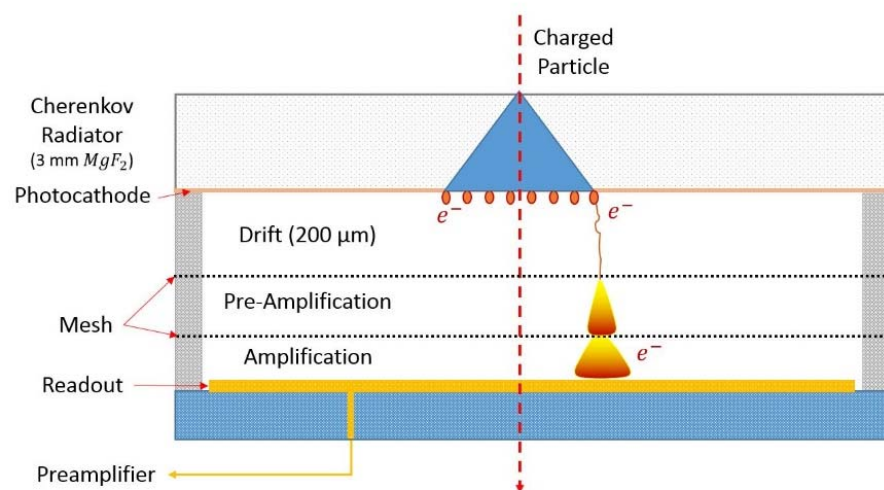
探测器有效面积约 1 cm^2



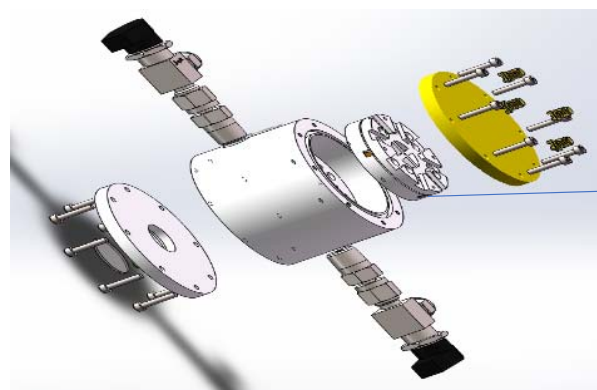
时间分辨可以好于50ps

探索双丝网MM结构的应用

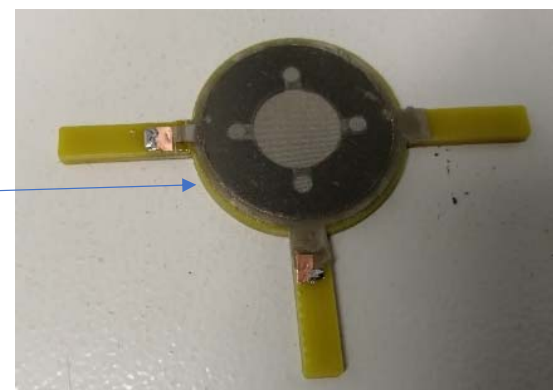
透射式双丝网快速定时MM



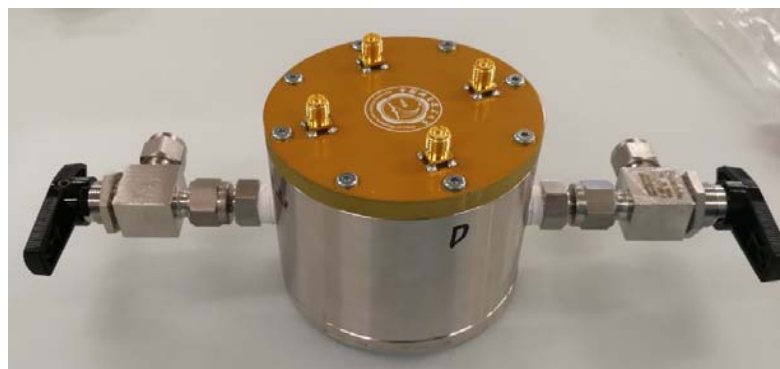
稳定工作在高增益，减小离子反馈，能保护CsI光阴极，有效延长其寿命。



整体探测器设计

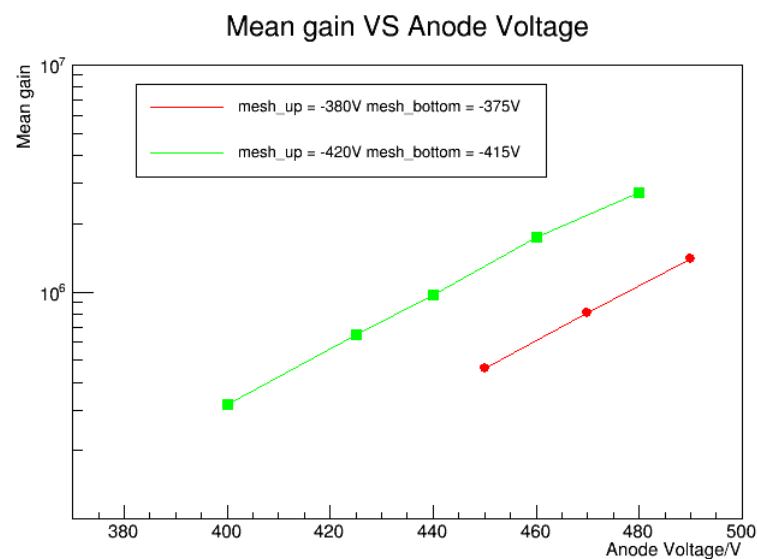
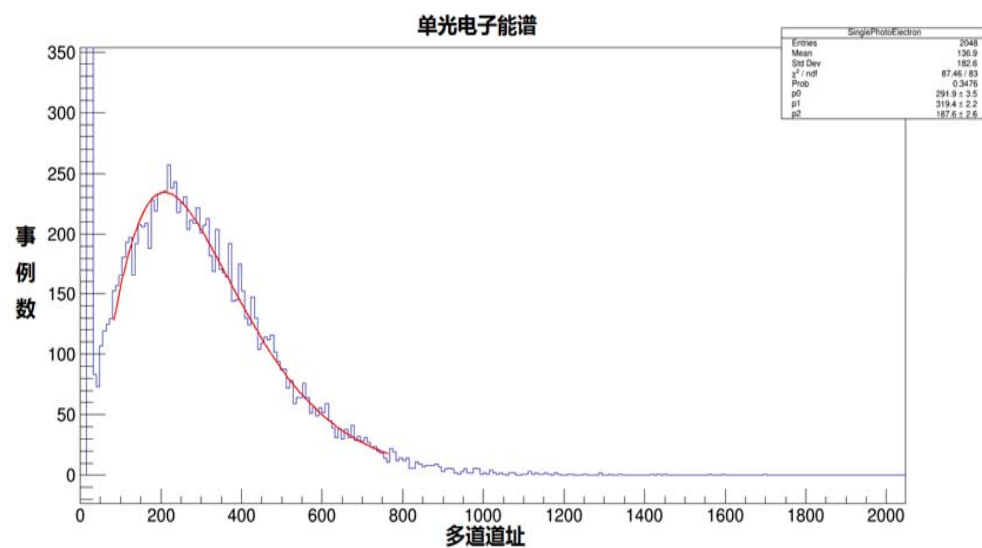


基于热压接工艺制作的双层丝网



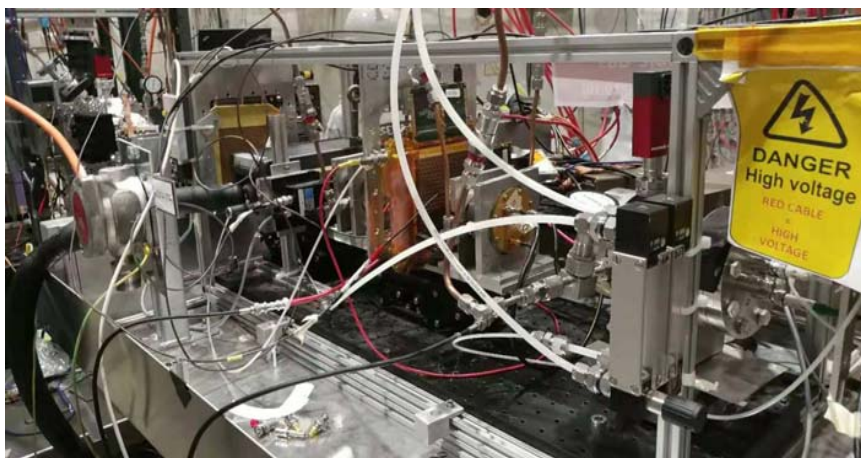
探测器实物图

利用激光测试单光子响应

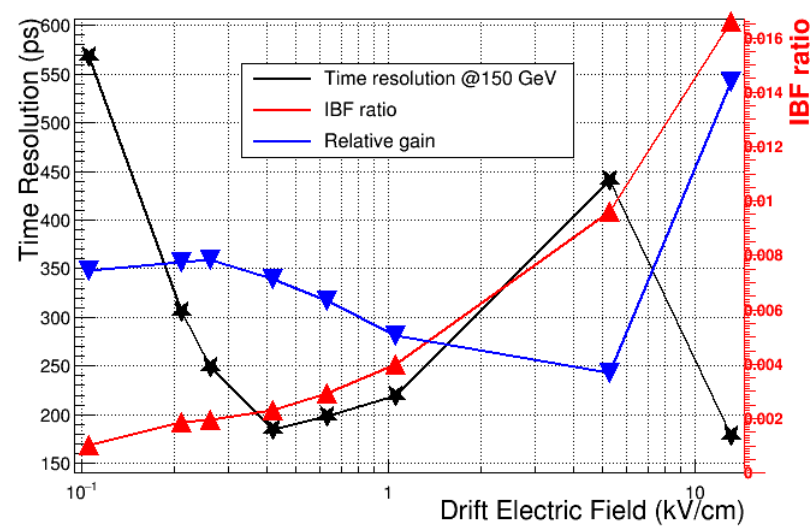


单光电子增益可超过 10^6

CERN束流测试

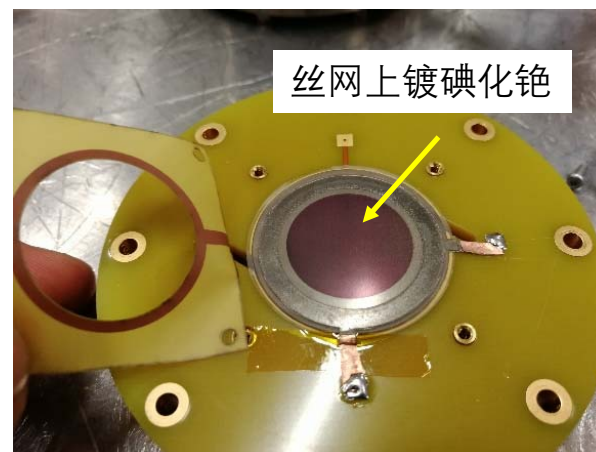
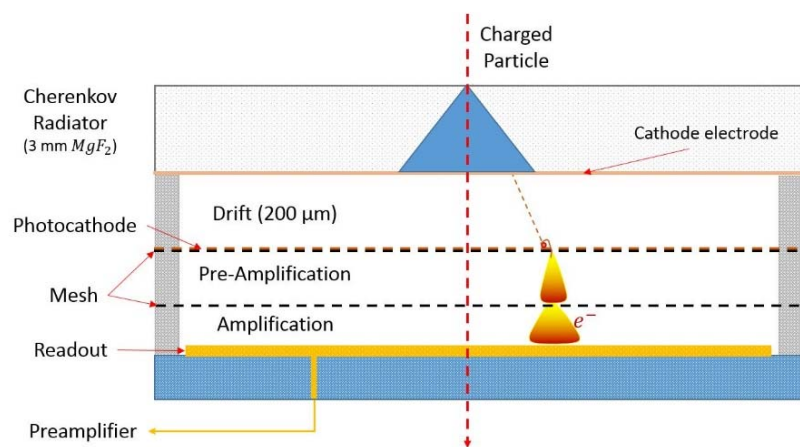


150 GeV muon



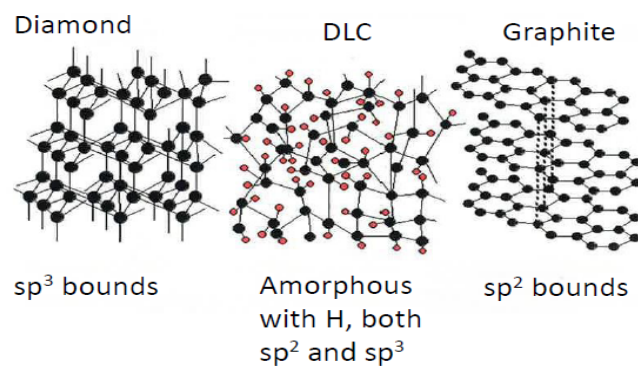
- 探测器可以工作在0.25%的很低的离子反馈，此时得到的时间分辨为180ps。（drift: 400V/cm, gap1: 42.5kV/cm, gap2: 36kV/cm）
- 通过扫描电压，探测器可得到80ps以下的时间分辨。

尝试发射式双丝网MM结构

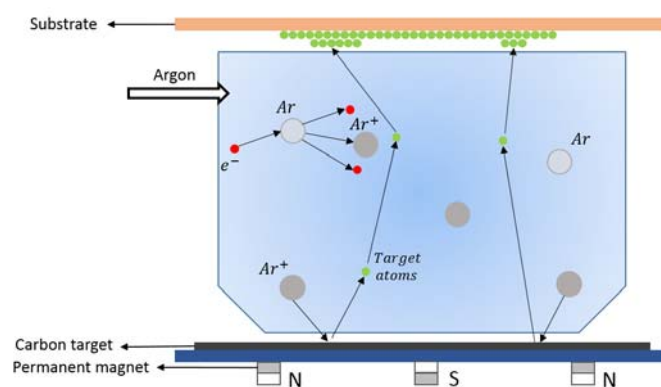


CsI镀层疑遭损坏，没有得到系统性测试结果。

新型光阴极研究



类金刚石结构碳材料



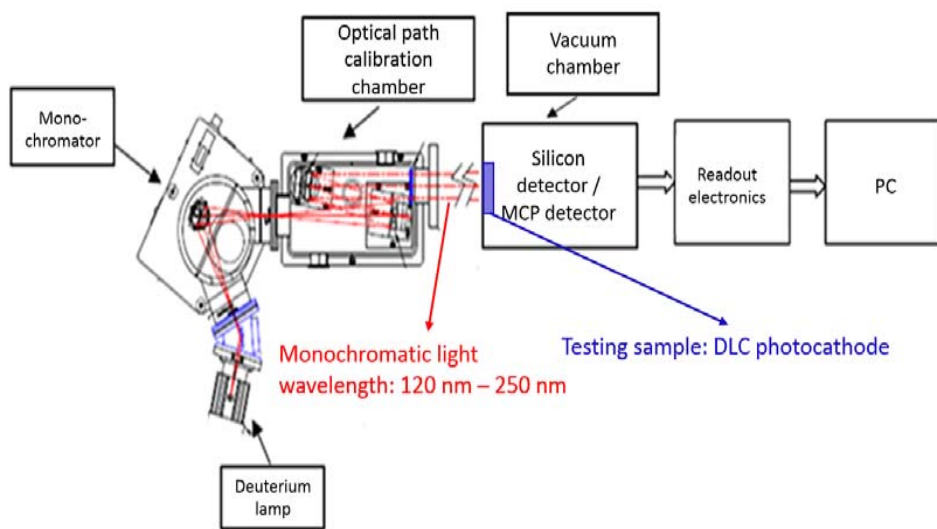
磁控溅射原理图



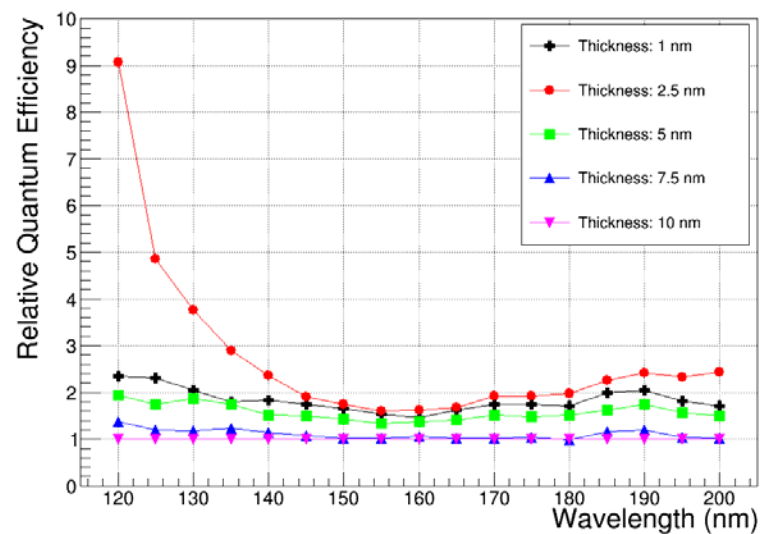
镀膜设备实物图



量子效率测试

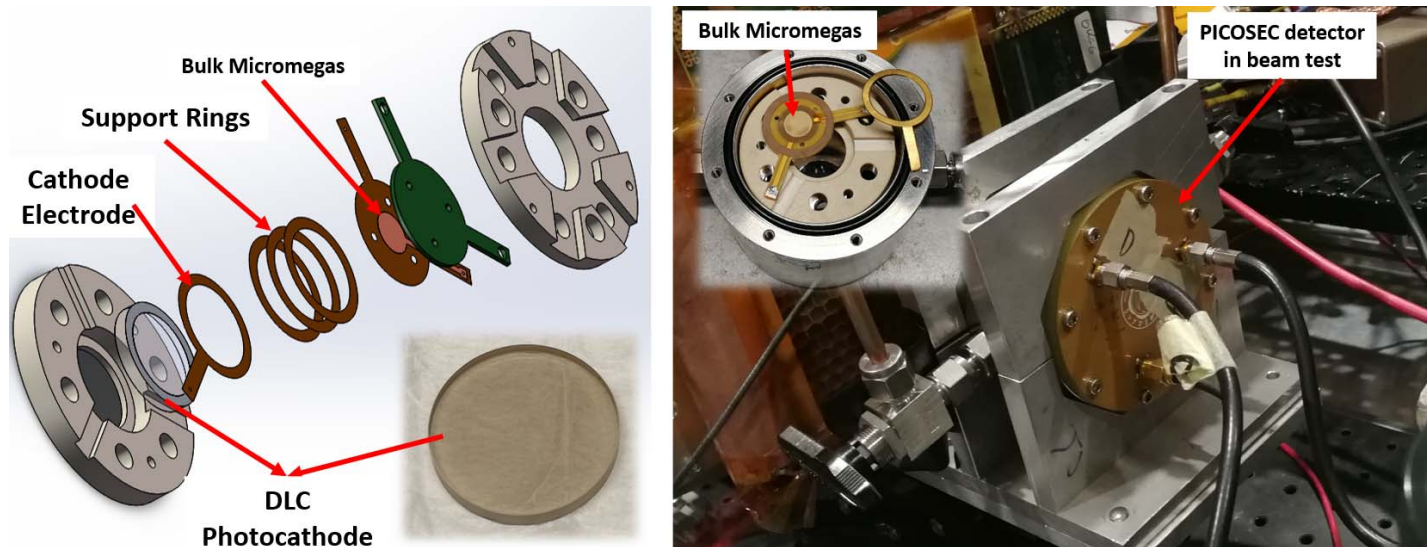


西安光机所深紫外光测试系统



以10纳米样品的测试结果作为归一化因子，得到如上图所示的相对量子效率分布。比较可知，当DLC的厚度为2,5nm时，具有最佳量子效率。

帶有DLC光陰極快速定時MM的束流測試



用于DLC测试的快速定时MM探测器设计图及在束流实验中的实景图

光电子产额及探测效率

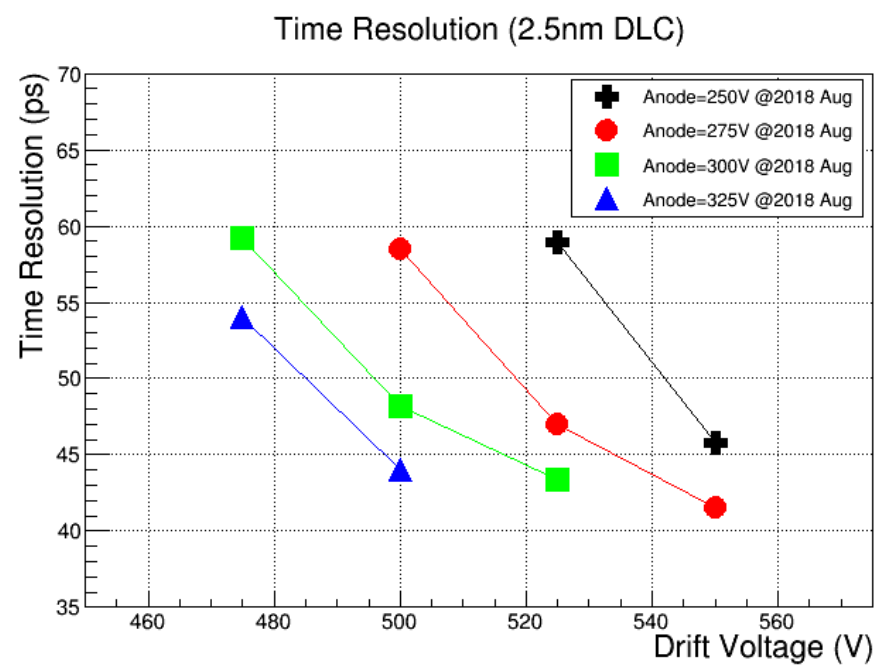
Thickness of DLC film (nm)	$N_{pe}/\text{per muon}$	Detection efficiency for muons
1	Bad	Bad
2.5	3.7	97%
2.5	3.5	95%
2.5	3.4	94%
5	3.4	94%
7.5	2.2	70%
10	1.7	68%

厚度为2.5纳米的DLC样品性能表现最好，与标准CsI光阴极相比，光电子产额为其~50%左右。

Radiator MgF_2 (mm)	Photocathode	N_{pe}
3	Cr + CsI (2 nm MgF_2 layer)	<1
3	Cr + CsI (2 nm MgF_2 layer)	3.55
3	20 nm Cr	0.66
3	6 nm Al	1.69
5	10 nm Cr	2.15
5	10 nm Al	2.20
3	2.5 nm DLC	3.7
3	5 nm DLC	3.4

与其他新型光阴极相比，DLC光阴极具有很好光电子产额，还有很好的耐用性。

时间分辨



时间分辨达到了42ps

总结及展望

- Micromegas结合契伦科夫机制可以实现高计数率下的精确定时
- 在完成了这一探测器概念的初步原理验证基础上，探索了新的探测器结构和新型光阴极
 - 双丝网MM在保持中等的时间分辨（180ps）情况下，可以有效减小离子反馈。
 - DLC光阴极光电子产额 $\sim 50\%$ CsI，令人鼓舞。
- 值得继续探测的探测器技术！

感谢重点实验室对本工作的大力支持！