

GEM条读出触发方法 研究进展

祁辉荣 张余炼 魏堃 陆卫国 温志文

高能物理研究所

主要内容

- 需要解决问题
- 条读出GEM探测器
- 不同触发模式测量
- 小结

GEM与Micromegas主要研究现状

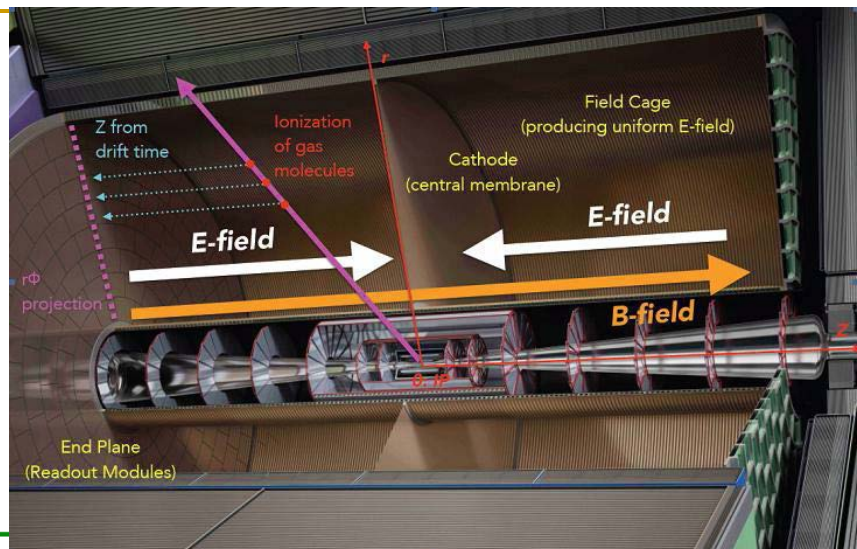
	MICROMEGAS		GEM	
SPACE RESOLUTION	COMPASS: ~ 90 μm	NIMA 577(2007) 455	COMPASS: ~ 70 μm	NIMA 577(2007) 455
TIME RESOLUTION	COMPASS: 9 ns	NIMA 577(2007) 455	COMPASS: 12 ns LHCb: 4.5 ns dedicated effort	NIMA 577(2007) 455 NIMA 535 (2004) 319
GAIN	COMPASS: ~6400 T2K: ~1500	NIMA 577(2007) 455 NIMA 637(2011) 25	COMPASS: ~8000 LHCb: ~4000 TOTEM: ~8000 PHENIX HBD: ~4000	B. Ketzer, priv. comm. NIMA 581 (2007) 283 G. Catanesi, priv. comm. NIMA 646(2011) 35
MATERIAL BUDGET	COMPASS: 0.3% X0	NIMA 577(2007) 455	COMPASS: 0.4% X0 COMPASS: 0.2% X0 (pixelized GEMs)	NIMA 577(2007) 455 NP B PS 197 (2009) 113
RATES	MAMMA-ATLAS: > 100 kHz / cm^2	MPGD2013	COMPASS: 12 MHz / cm^2 (pixelized GEMs)	NP B PS 197 (2009) 113
NO AGEING TILL	MAMMA-ATLAS: X-rays: 225 mC / cm^2 n: 0.5 mC / cm^3 gamma: 15 mC / cm^4 alphas: 2.4 mC / cm^5	VCI 2013	LHCb: 2 C / cm^2 high gas flux	NPB PS 150 (2006) 159

From TIPP2014 Slides

MPGD探测器需求@ILC

- 主要物理需求
- 读出通道数~100万通道
- 模块化读出

Performance/ Design Goals



Momentum resolution at B=3.5T

$\delta(1/pt) \approx 10^{-4}/\text{GeV}/c$ TPC only

δ_{point} in $r\Phi$

$< 100\mu\text{m}$ (avg for straight-radial tracks)

δ_{point} in rz

$\approx 0.4 \sim 1.4\text{mm}$ (for zero – full drift)

Inner radius

329mm

Outer radius

1800mm

Half length

2350mm

TPC material budgt

$\approx 0.05X_0$ including the outer field cage in r

$< 0.25X_0$ for readout endcaps in z

Pad pitch/no. padrows

$\approx 1\text{mm} \times 4 \sim 10\text{mm} / \approx 200$

2-hits resolution in $r\Phi$

$\approx 2\text{mm}$ (for straight-radial tracks)

Performance

$> 97\%$ efficiency for TPC only ($pt > 1\text{GeV}/c$)

$> 99\%$ all tracking ($pt > 1\text{GeV}/c$)

From ILD-TPCSlides

原型探测器需要解决的问题

- 研究探测器模块
- 需要解决以下问题
 - 研制原型探测器特点（与LP1的不同）？
 - 原型探测器满足探测器模块的测量？
 - 原型探测器解决的问题？
 - 前期电子学的需求？
- ILD-LP1研究主要方向
 - 正离子门控
 - 电磁场畸变
 - 气体本底
 - 冷却
 - 读出模块性能
 - 标定与刻度
 - 触发模式

DESY-PCMAG:

内径86cm

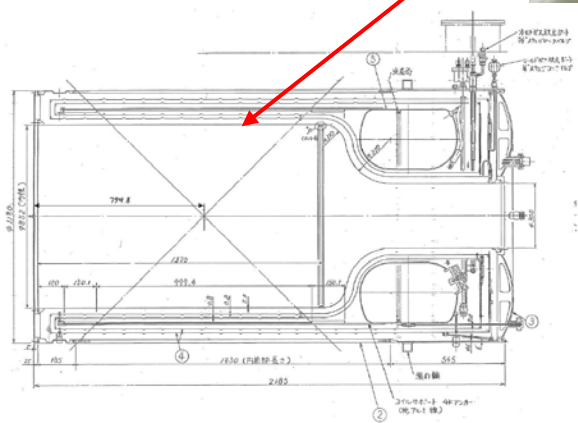
长度100cm

ILD-LP1:

漂移场大小72cm×60cm

可安装7个模块

每个模块大小18cm×12cm

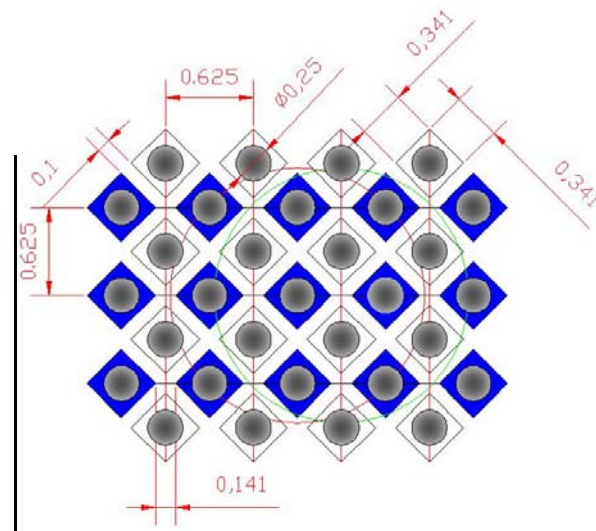
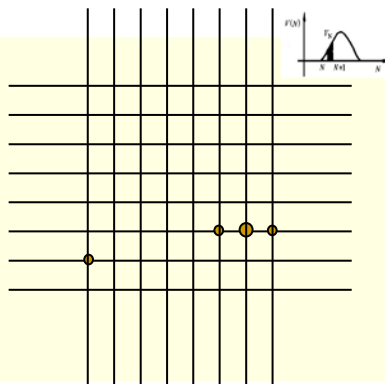


DESY-PCMAG磁场测量示意图
(磁场强度1.0Tesla)

条读出GEM重心法

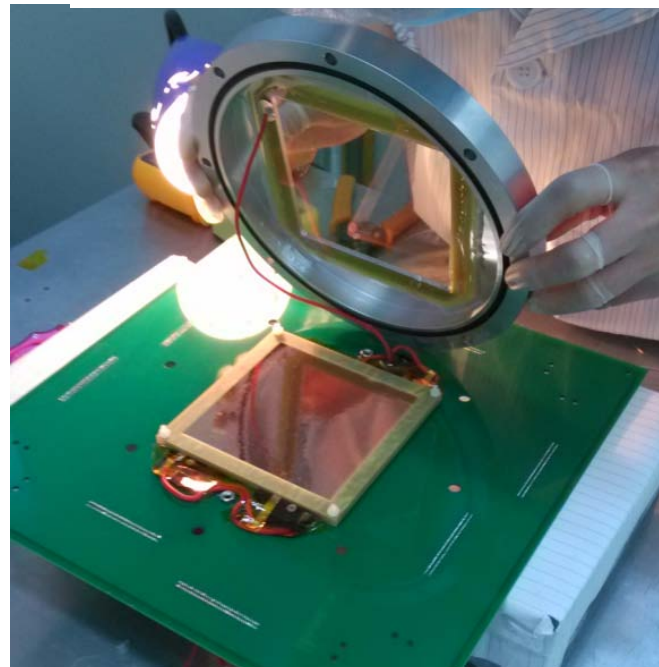
$$C_x = \frac{\sum D_{ix} V_i}{\sum V_i}$$

$$C_y = \frac{\sum D_{iy} V_i}{\sum V_i}$$



式中CX--重心的x坐标;
Cy--重心的y坐标;
Dix--第i点的x坐标;
Diy--第i点的y坐标;
Vi--第i个地点处的权重。

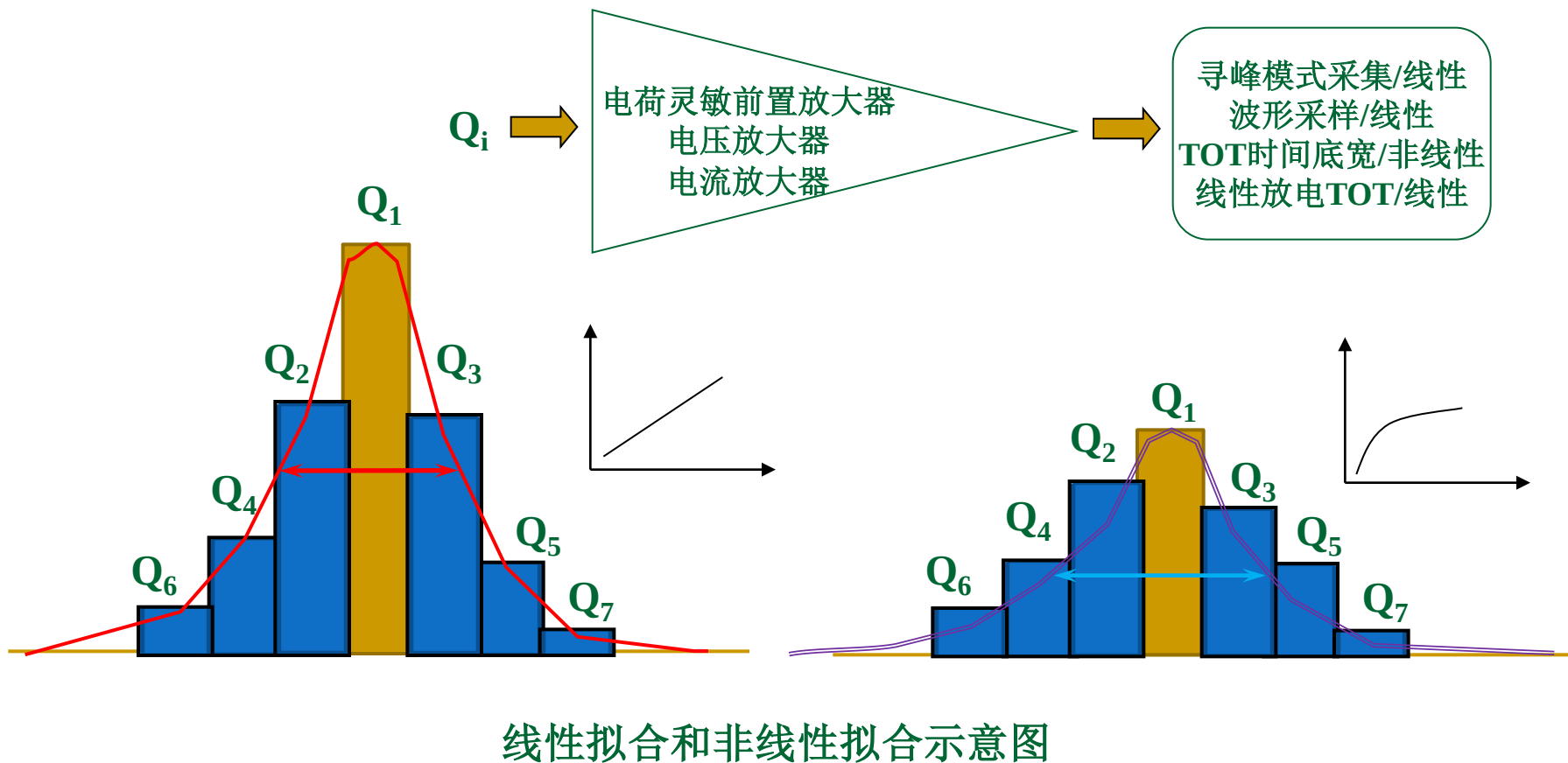
- ❑ 设计**0.625mm**的对称**45度**旋转
- ❑ 一维连接成读出条的**PCB**设计
- ❑ 尺寸**230mm×230mm**
- ❑ **PAD**数**30000**个
- ❑ 读出条数**320**路



对出读出板设计及组装示意图

GEM探测器条读出

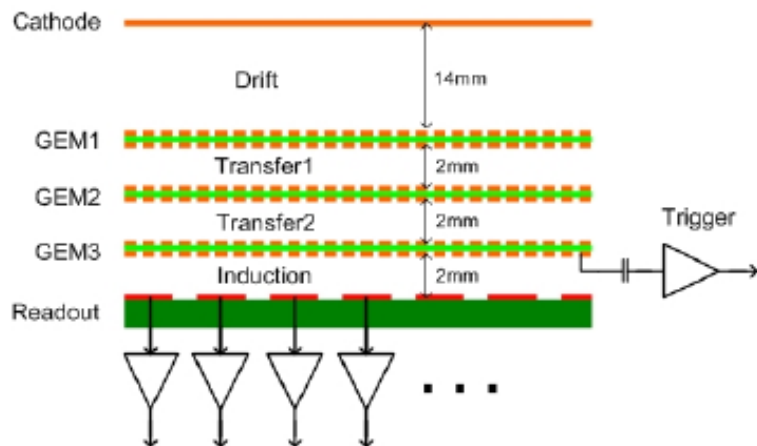
■ 相邻读出条的重心法测量精度的影响



电荷灵敏读出方法-触发问题

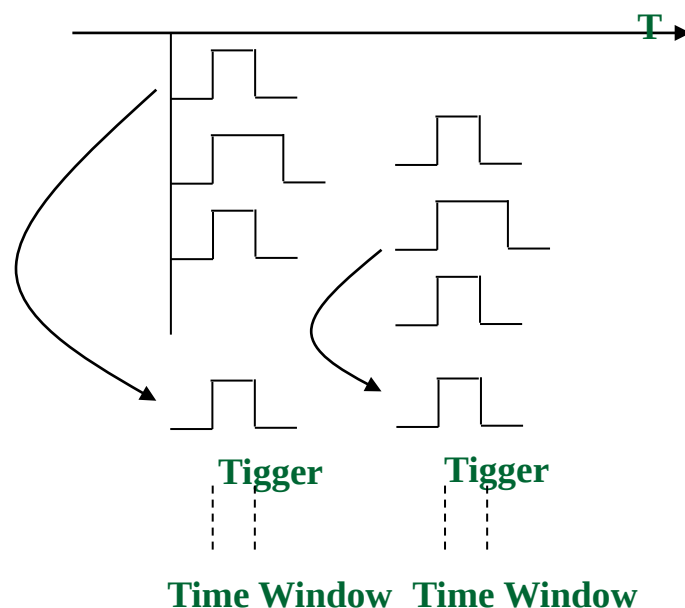
■ 触发方式公共触发

- 第三层下表面
- 分布电容较大
- 多次击中问题
- 噪声误触发



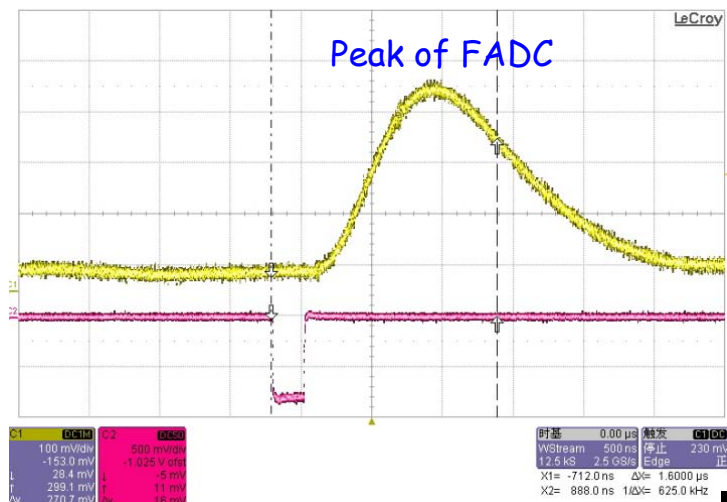
■ 自触发

- 时间序列触发
- 判选问题
- 时间序列关系



GEM探测器条读出的示意图

触发方法1-自触发法



FADC寻峰窗口关系示意图

- ❑ 最高计数率~250kHz
- ❑ 需要采用数据零压缩
- ❑ 寻峰窗口需要优化
- ❑ 4 μ s的Veto time

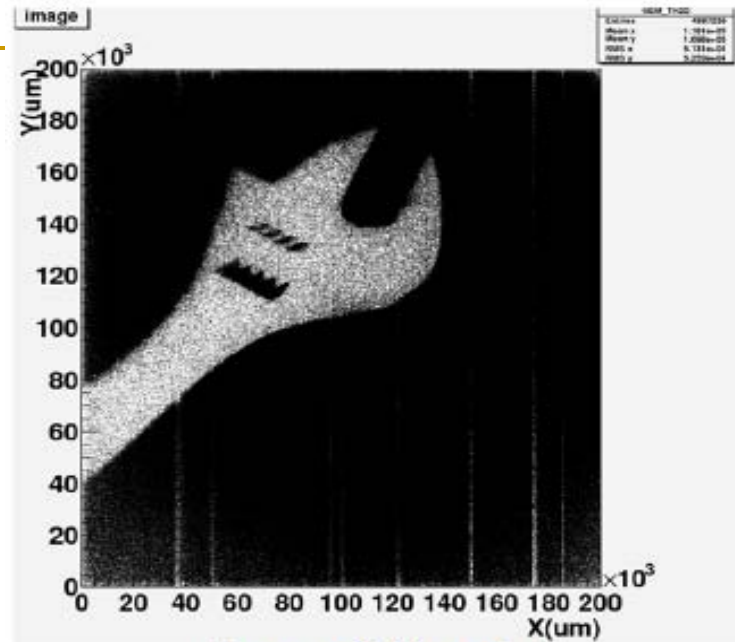
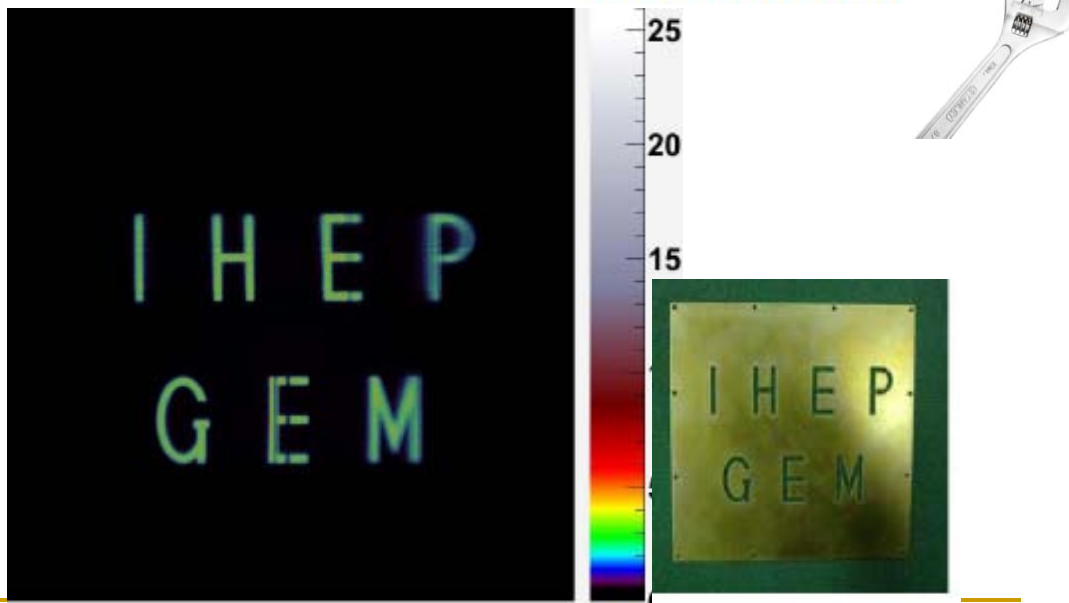


Image of Wrench



实际成像结果

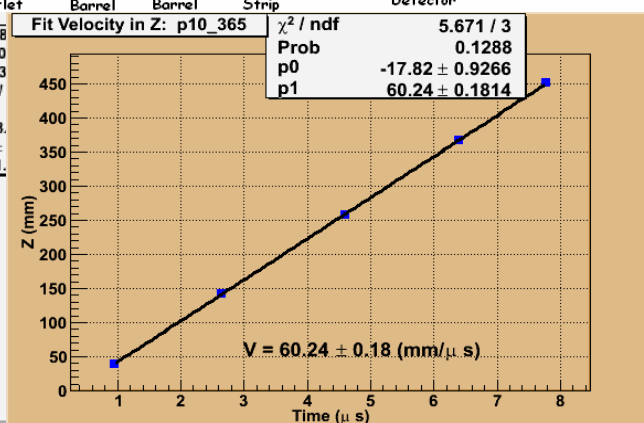
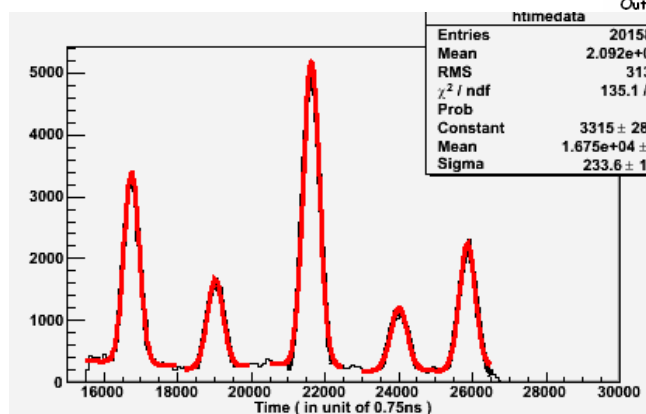
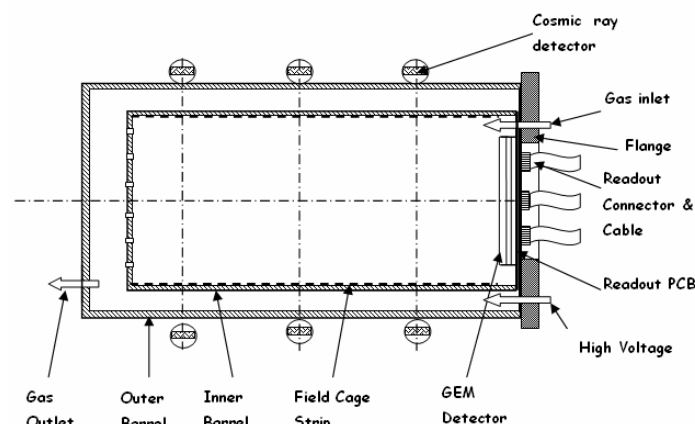
触发方法2-外部触发法

■ 激光器标定脉冲外部触

- 钕晶石激光器 Nd-LAG
- 波长266nm
- 精度高
- ALICE/PANDA应用

■ 闪烁体外部触发

- 测量T0值
- 测量漂移时间
- 测量漂移速度
- 符合宽度大
- 符合精度低

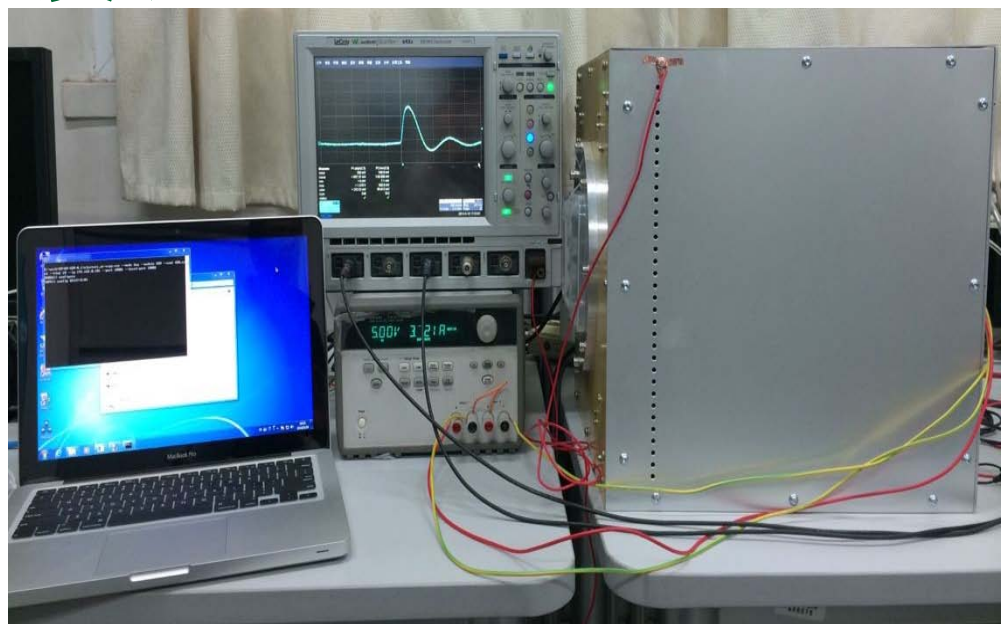


P10气体漂移速度测量结果

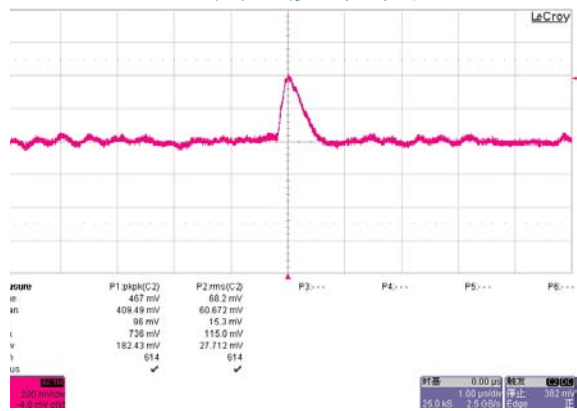
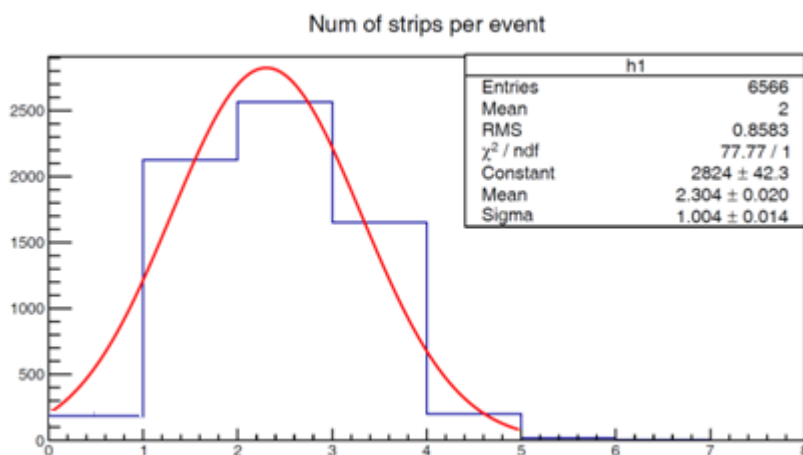
触发方法3-粗细时钟触发法

■ 粗细时钟触发测量

- 六层**320**路条读出母板
- **8**块子板读出
- 系统尺
寸:**36cm**×**36cm**×**36cm**
- **ASIC**芯片-**GEMROC**，共**32**块，**16ch/块**
- **1us**底宽，**15mV/fC**增益



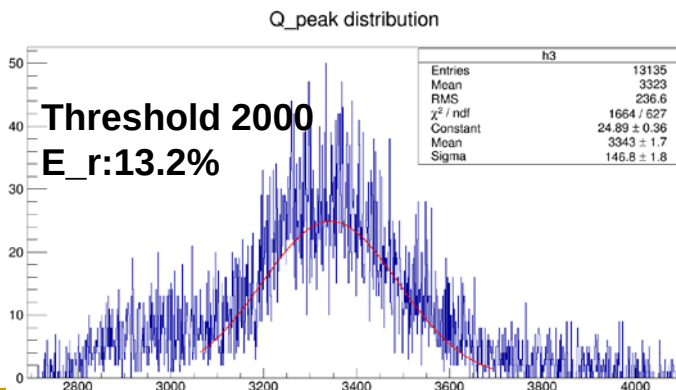
测试实物图



信号及单次读出条分布

触发方法3-粗细时钟触发法

- 时钟用于细时钟计数器的计数；秒时钟是由WR提供的，
- 每隔绝对时间的1秒钟会给出一个脉冲信号，不同插件之间起到时钟同步的作用，同步精度可以达到**300ps**。
- 秒时钟到来将细时钟计数器清零同时秒时钟计数器加1。
- 取细时钟和秒时钟的计数器的位宽分别为**26位**和**16位**。



通道号 峰值 达峰时间 秒时钟 细时钟 (40MHz)

2294575 0	8	5	3315	6	1344	1101269	9
2294576 0	1	6	3125	5	1344	1101270	9
2294577 0	1	6	3809	6	1344	1101810	9
2294578 0	2	7	4015	6	1344	1101810	9
2294579 0	3	5	2850	6	1344	1101811	9
2294580 0	4	8	2886	6	1344	1101811	9
2294581 0	5						
2294582 0	6						
2294583 0	7						
2294584 0	8	7	2987	5	1344	1104937	9
2294585 0	1						
2294586 0	1						
2294587 0	2	6	3170	5	1344	1105370	9
2294588 0	1	7	3335	4	1344	1105371	9
2294589 0	1						
2294590 0	2						
2294591 0	3	4	3397	5	1344	1107541	9
2294592 0	4						
2294593 0	6	5	3716	5	1344	1107541	9
2294594 0	7	6	2992	4	1344	1107542	9
2294595 0	8						
2294596 0	1						
2294597 0	1	3	3641	6	1344	1108237	9
2294598 0	6	2	2823	6	1344	1108238	9
2294599 0	6	4	3066	5	1344	1108239	9
2294600 0	7	1	2902	4	1344	1108840	9
2294601 0	8						
2294602 0	6						
2294603 0	6	1	3130	5	1344	1109806	9
2294604 0	7	7	2915	3	1344	1110615	9
2294605 0	8	8	3144	3	1344	1110615	9
2294606 0	1						
2294607 0	1	4	3327	6	1344	1111415	9
2294608 0	2	2	3227	5	1344	1111416	9
2294609 0	3	8	2842	5	1344	1112476	9
		8	3606	6	1344	1112722	9

55Fe放射源全能峰及数据判选

触发方法4-符合窗触发法

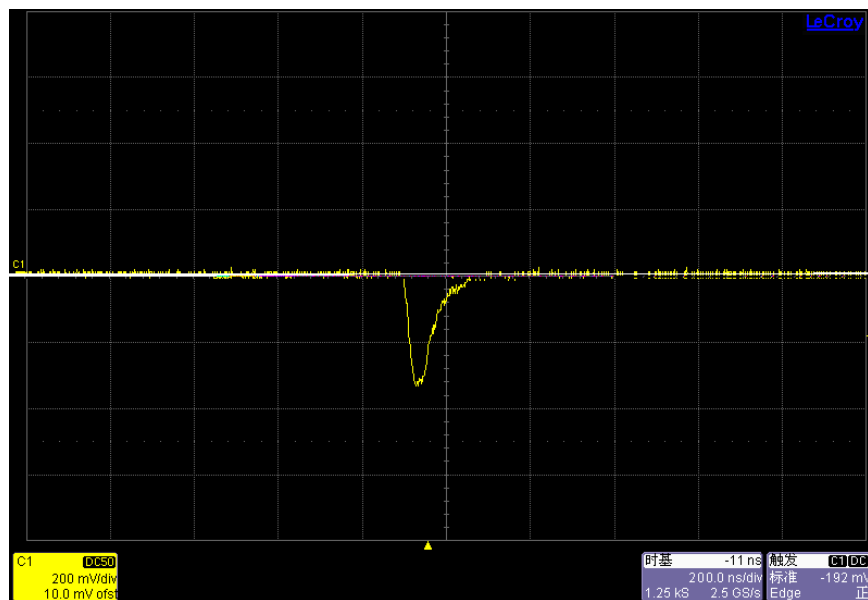
- ❑ 符合时间窗20ns~200ns
- ❑ 前置放大器CASCA -16通道
- ❑ 32通道输入
- ❑ 第一个事例产生，打开时间窗，采集所有通道数据
- ❑ 网络传输至PC机



线性放电TOT

■ 前置放大器:

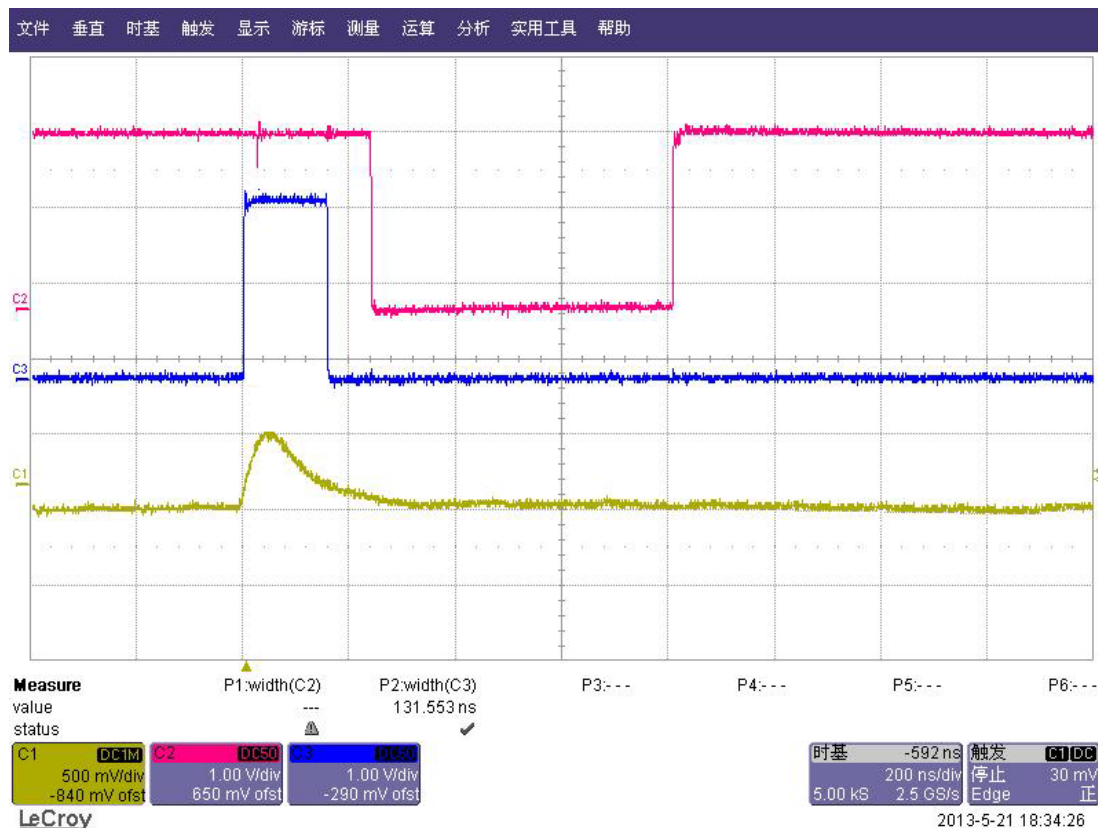
- 输出幅度最可几值400mV~500mV
- 信号底宽度~200ns
- 噪声峰峰值~25mV @高压加载
- 电荷等效放大增益约为1000，20mV/fC



前置放大器的输出信号

信号时序关系

- 黄色线为前置放大器输出信号，输出信号宽度为 $\sim 220\text{ns}$ ，幅度约为 500mV
- 蓝色线为TOT对于此信号的前沿甄别输出信号TT，宽度约为 180ns
- 红色线为TOT对于此信号的宽度甄别后线性放电的输出信号TQ，该图中宽度约为 550ns
- 该信号的前放端之前馈入的电荷量约为 120fC



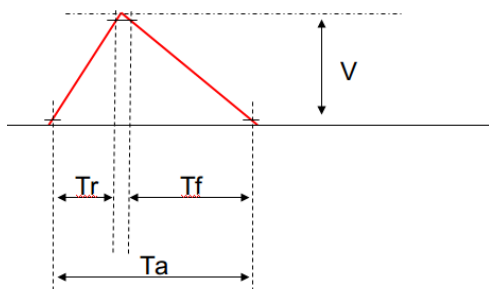
典型的条读出TOT条各路输出波形@55Fe

(黄色：前置放大器输出信号；蓝色：前沿甄别输出信号TT；红色：宽度甄别输出信号TQ)

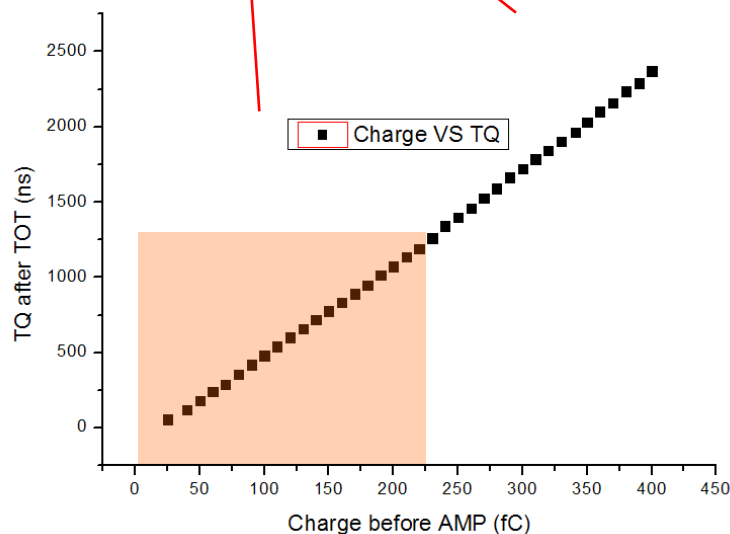
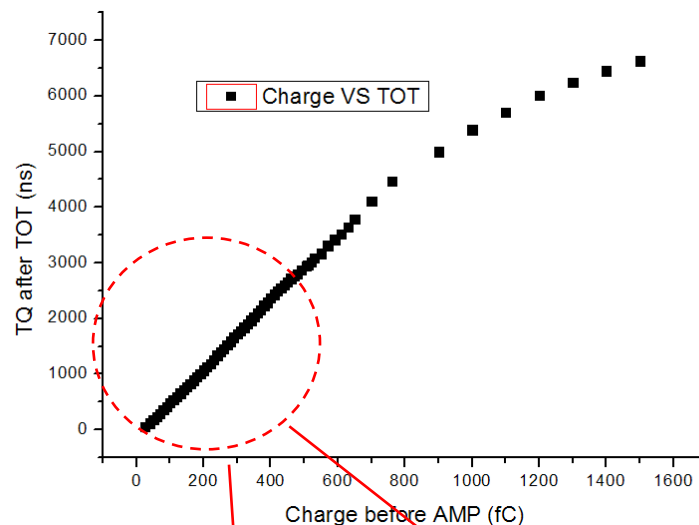
工作动态范围

■ 输出线性的测量:

- 输入等效电荷量在450fC以内，TOT芯片的输出TQ时间宽度的线性是很好的
- 在输入等效电荷量在200fC左右的时候，TOT的TQ输出宽度约为800ns，
- 200fC左右的等效电荷量基本上等效于三级级联GEM探测器的输入等效电荷量
- 输入等效电荷量450fC~1600fC的时候，TOT输出的TQ宽度信息会出现非线性关系



输入等效电荷量的波形



前放端等效输入电荷量与输出TQ宽度关系

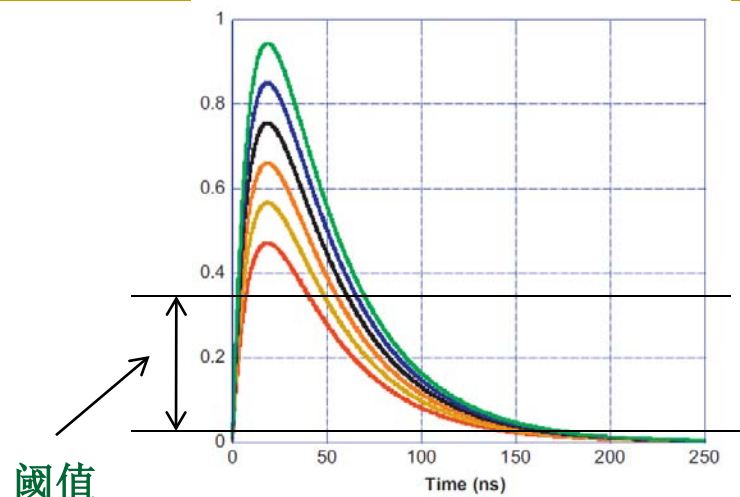
阈值选取

■ 波形特点

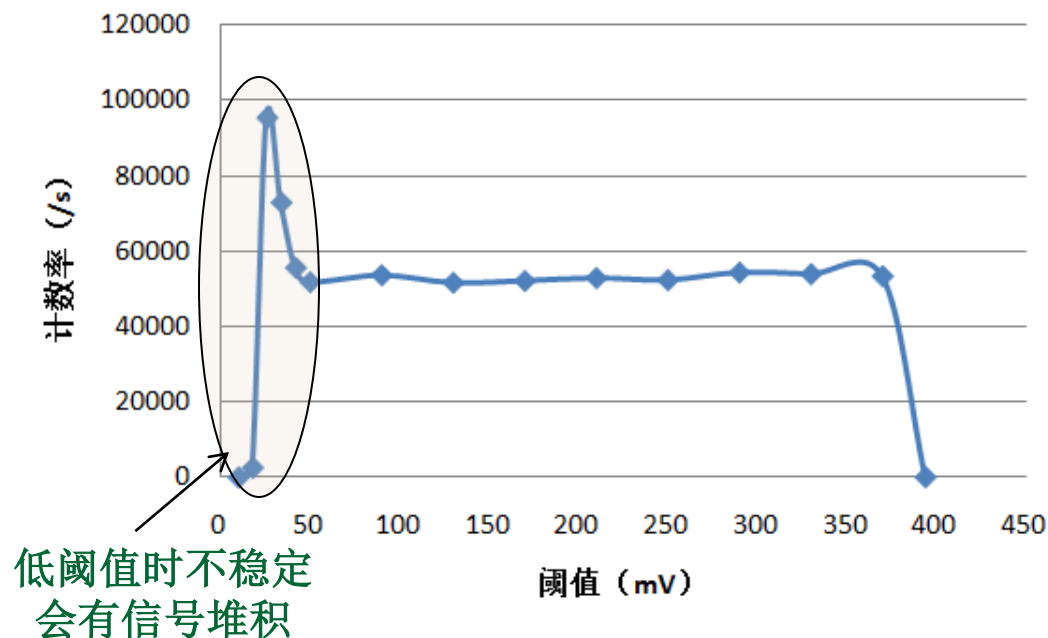
- GEM的信号上升时间~30ns，下降沿由后续放电处理电路决定，太慢会影响计数率，一般在底宽度200ns左右
- 峰面积与原始电荷量有线性关系
- 阈值与噪声关系密切

■ 等效阈值

- 改变不同的阈值范围
- 测量计数率变化
- Fe55放射源



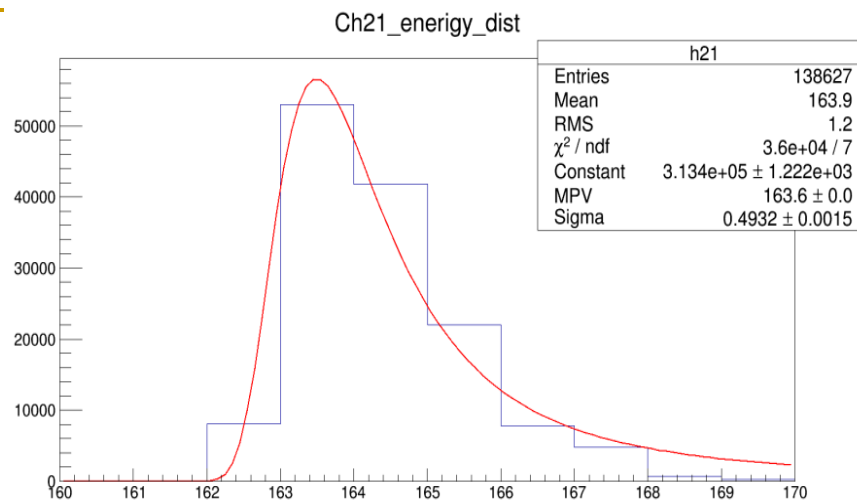
基于TOT的GEM波形的特性示意图



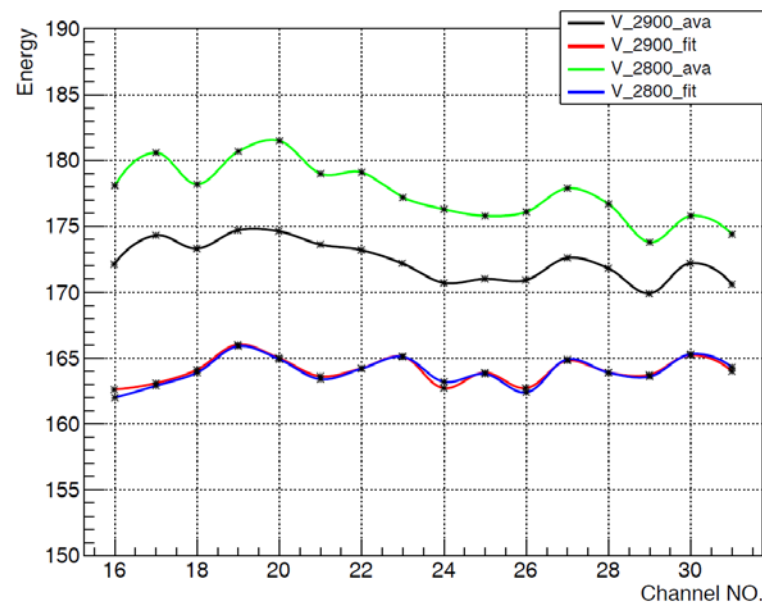
等效阈值测量结果

通道基线选择

- 工作气体Ar/CO₂(90/10)
- 串联电阻链高压分配
- V_GEM:~300V
- 没有Fe55放射源
- 测量100000个获取事例
- 拟合得到各通道的基线
- 基线值<200(输出数字值, 最大为2047)



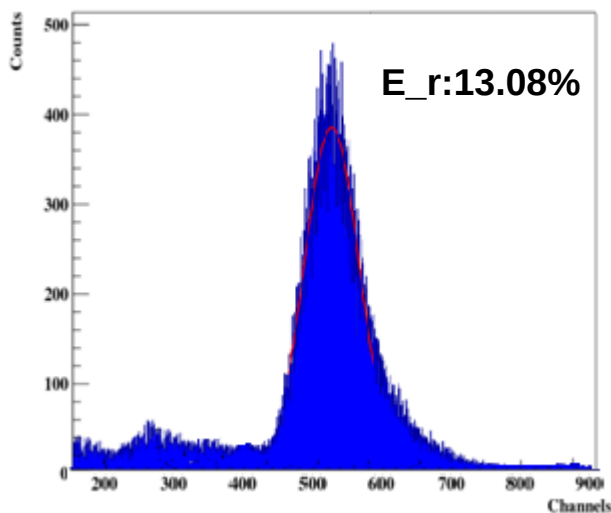
21编号通道的基线拟合



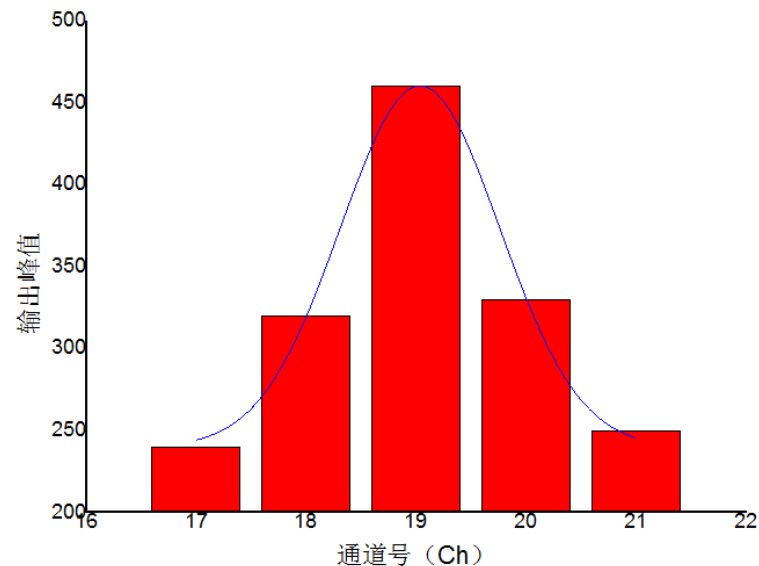
不同电压下不同通道阈值对比

测量结果

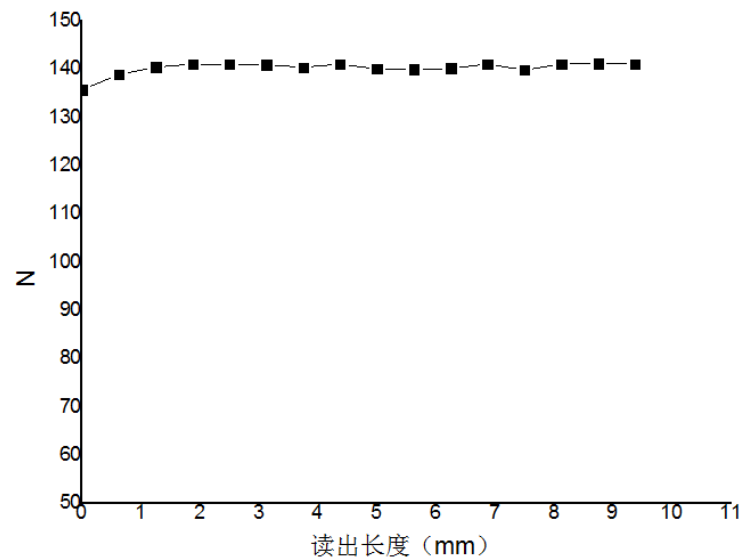
- 最可几的条为3~5条
- 读出区域的均匀照射分布结果
- ^{55}Fe 能谱测量@1mm准直孔



55Fe能谱图@3100V



5读出条的典型单次输出高斯拟合



均匀照射下16通道的分布

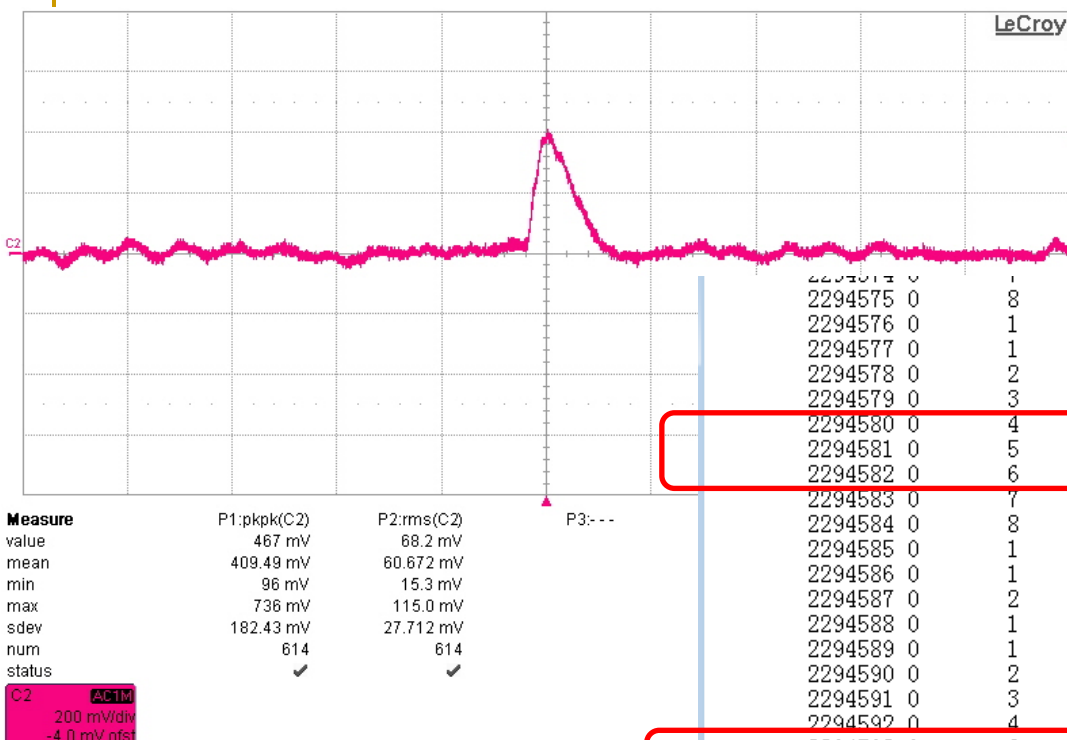
小结

- 给出现在MPGD探测器主要发展的指标特性，以及面向ILD物理需求提出新的需要解决的问题
- 依据已有的测试基础和模块化研究的问题，设计了条对称的二维读出GEM探测器，采用Ar/CO₂:90/10工作气体和电阻链分配供电
- 分析了不同触发模式的区别，以及各自的优缺点
- 对比了四种触发模式的区别和测量的结果，特别在线性放电的符合窗触发模式下，测量了32通道的读出初步结果

谢谢！

Backup

GEM电子学调试



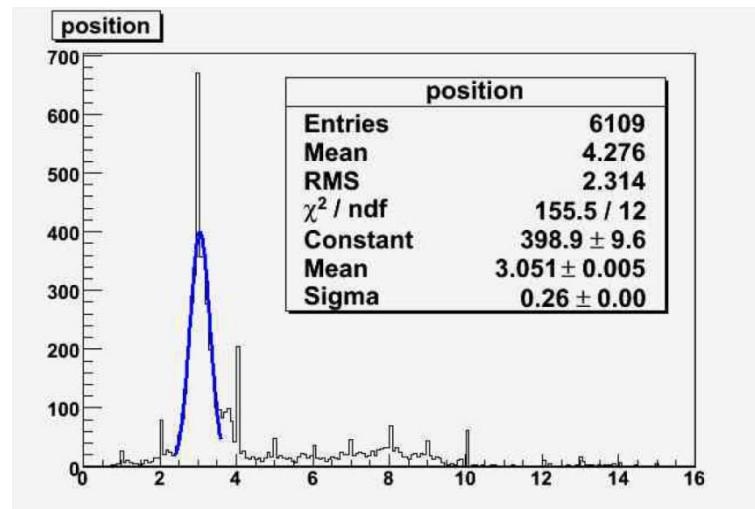
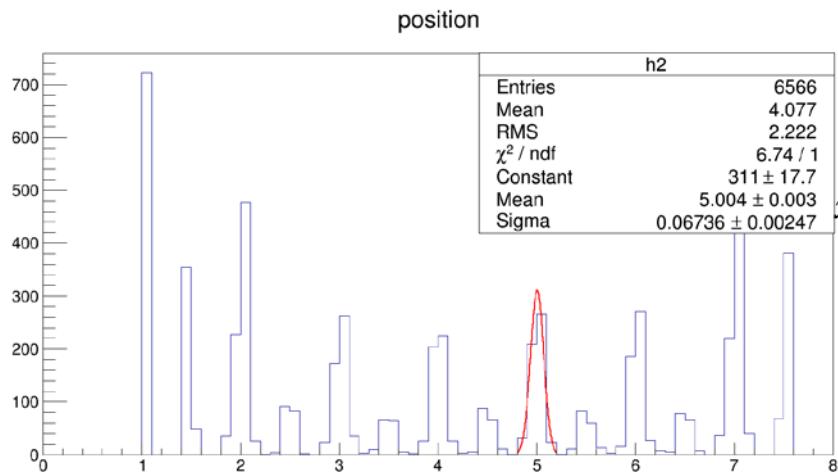
2294575	0	8
2294576	0	1
2294577	0	1
2294578	0	2
2294579	0	3
2294580	0	4
2294581	0	5
2294582	0	6
2294583	0	7
2294584	0	8
2294585	0	1
2294586	0	1
2294587	0	2
2294588	0	1
2294589	0	1
2294590	0	2
2294591	0	3
2294592	0	4
2294593	0	6
2294594	0	7
2294595	0	8
2294596	0	1
2294597	0	1
2294598	0	6
2294599	0	6
2294600	0	7
2294601	0	8
2294602	0	6
2294603	0	6
2294604	0	7
2294605	0	8
2294606	0	1
2294607	0	1
2294608	0	2
2294609	0	3

5	3315	6	1344	1101269
6	3125	5	1344	1101270
6	3809	6	1344	1101810
7	4015	6	1344	1101810
5	2850	6	1344	1101811
8	2886	6	1344	1101811
7	2987	5	1344	1104937
6	3170	5	1344	1105370
7	3335	4	1344	1105371
4	3397	5	1344	1107541
5	3716	5	1344	1107541
6	2992	4	1344	1107542
3	3641	6	1344	1108237
2	2823	6	1344	1108238
4	3066	5	1344	1108239
1	2902	4	1344	1108840
1	3130	5	1344	1109806
7	2915	3	1344	1110615
8	3144	3	1344	1110615
4	3327	6	1344	1111415
2	3227	5	1344	1111416
8	2842	5	1344	1112476
8	3606	6	1344	1112722

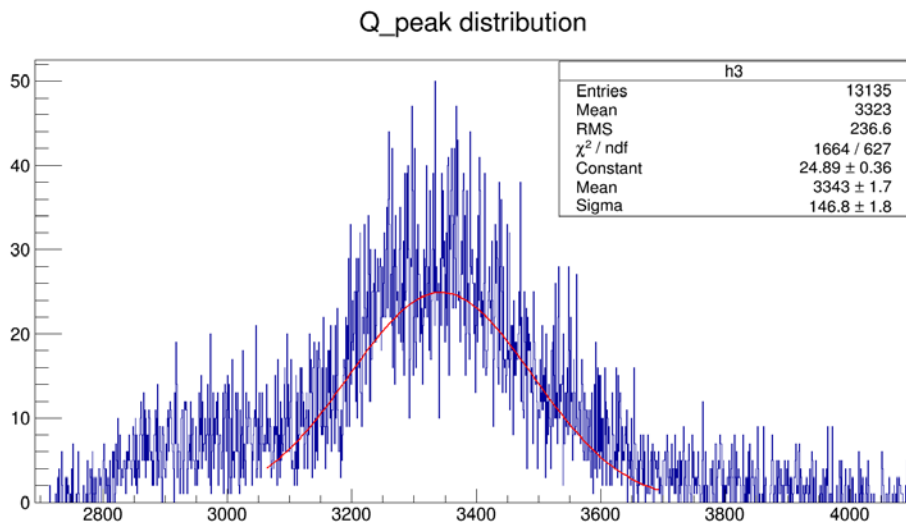
通道号 峰值 达峰时间 秒时钟 细时钟 (40MHz)

数据处理时钟用于细时钟计数器的计数；秒时钟是由WR提供的，每隔绝对时间的1秒钟会给出一个脉冲信号，它在系统中的不同插件之间起到时钟同步的作用，它的同步精度可以达到300ps。秒时钟到来将细时钟计数器清零同时秒时钟计数器加1。取细时钟和秒时钟的计数器的位宽分别为26位和16位。

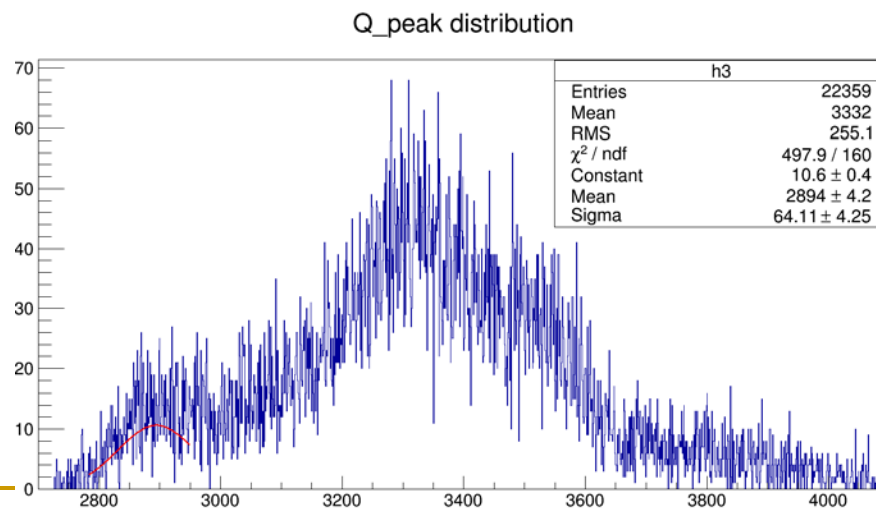
重心法计算位置分布，ADC道数分布



⁵⁵Fe放射源通过20微米的与探测器读出条平行的准直缝垂直入射（FanRR毕业论文）条宽200微米，间距100微米

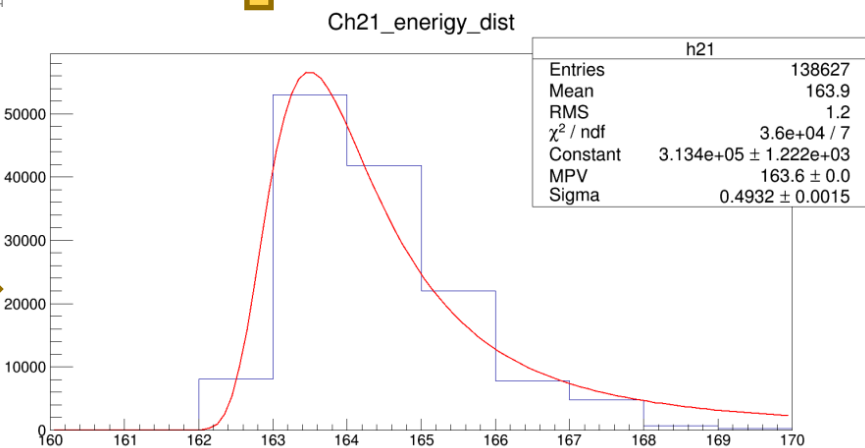
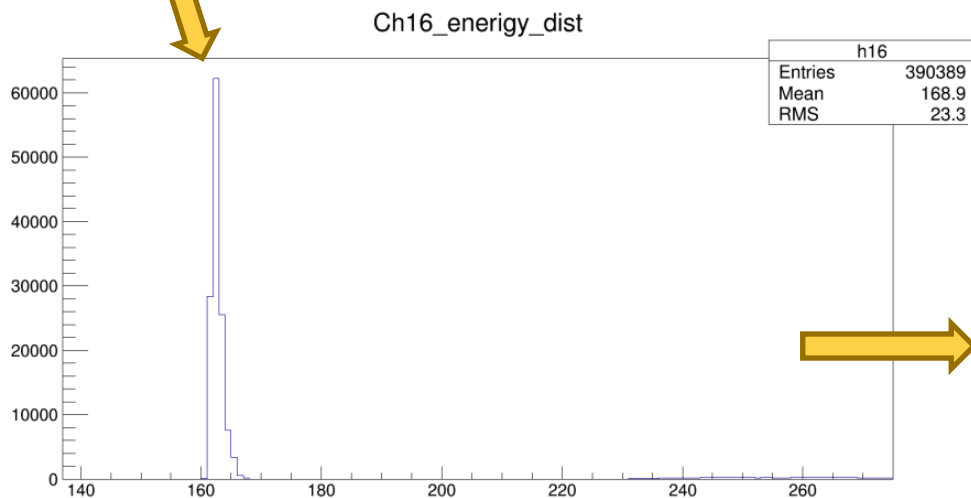
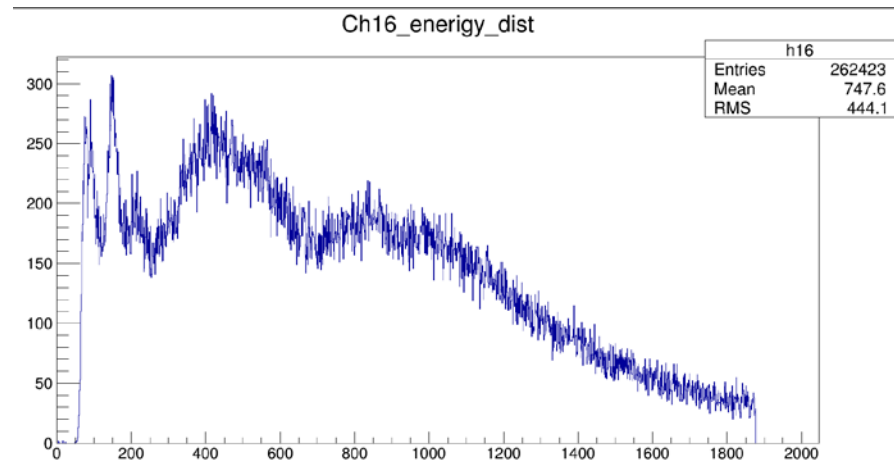
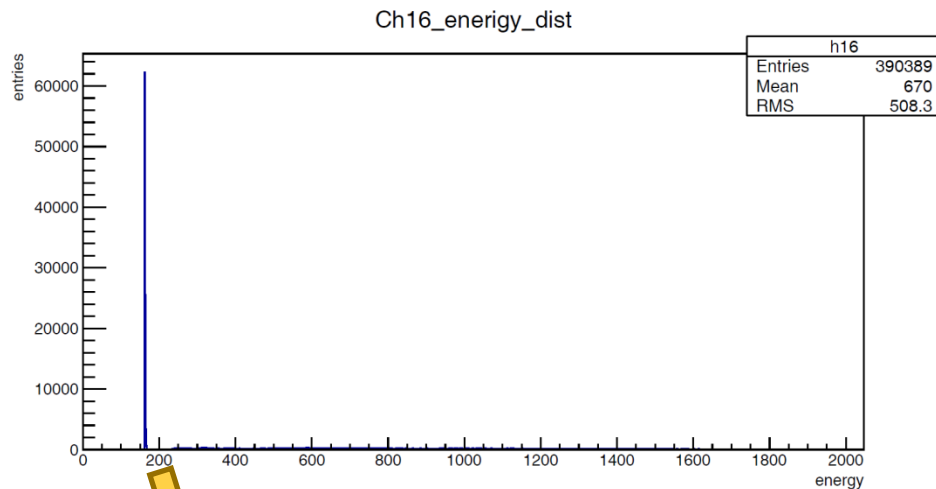


Threshold 2000



Threshold 2780

TOT 测试



GEM voltage 2900			GEM voltage 2800		
Channel NO.	average(range from 100 to 300)	Landau fit	Channel NO.	Average(range from 100 to 300)	Landau fit
16	172.1	162.6	16	178.1	162
17	174.3	163.1	17	180.6	162.9
18	173.3	164.1	18	178.2	163.9
19	174.7	166	19	180.7	165.9
20	174.6	165	20	181.5	164.9
21	173.6	163.6	21	179	163.4
22	173.2	164.2	22	179.1	164.2
23	172.2	165.1	23	177.2	165.1
24	170.7	162.7	24	176.3	163.2
25	171	163.9	25	175.8	163.8
26	170.9	162.7	26	176.1	162.4
27	172.6	164.8	27	177.9	164.9
28	171.8	163.9	28	176.7	163.9
29	169.9	163.7	29	173.8	163.6
30	172.2	165.2	30	175.8	165.3
31	170.6	164	31	174.4	164.3

