

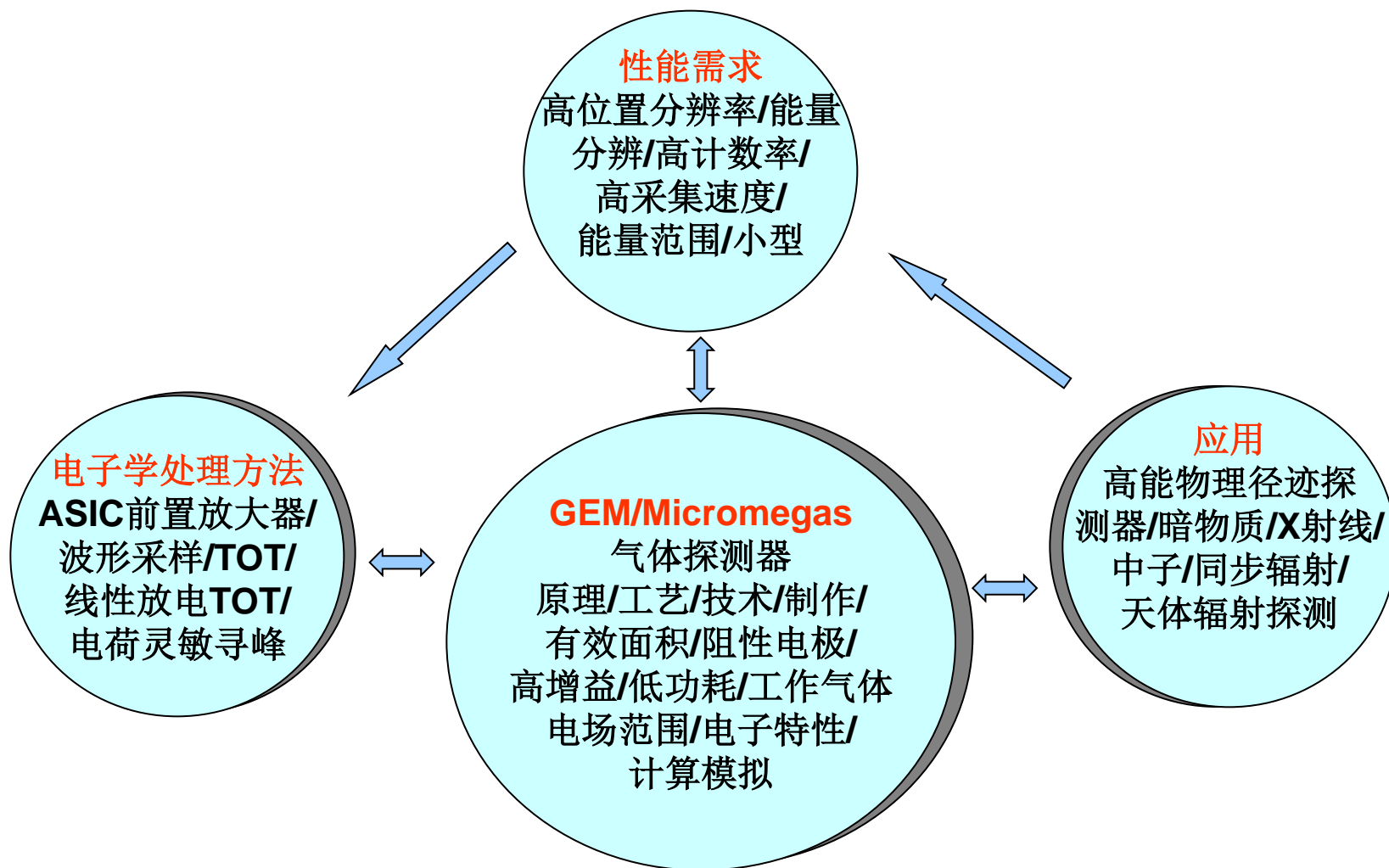
# GEM条读出方法及TOT读出 方法研究进展

报告人：祁辉荣

单位：高能物理研究所

# 主要内容

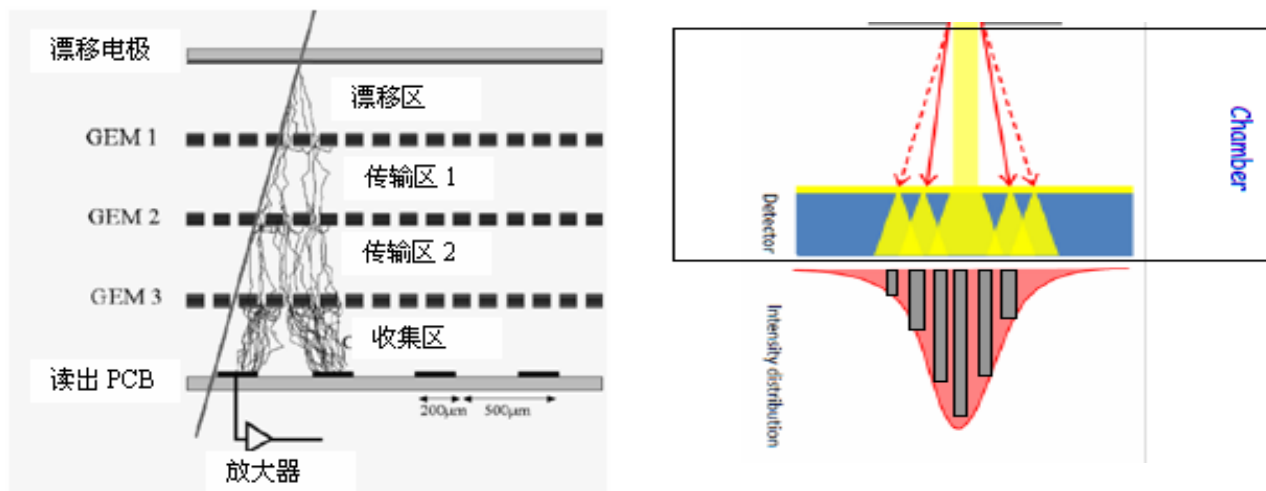
- GEM探测器条读出
- 电荷灵敏读出方法
- 线性放电TOT方法
- 测量结果分析
- 小结



# GEM探测器条读出

## ■ GEM探测器读出方法

- GEM探测器收集区电子束团具有一定的分散范围，约mm量级
- 为了得到最好的位置分辨率，需要设计条读出的感应条，结合相邻条的重心法得到原处电离点的位置信息
- 单次事例利用高斯拟合得到峰位置
- 高计数率和高位置分辨率应用

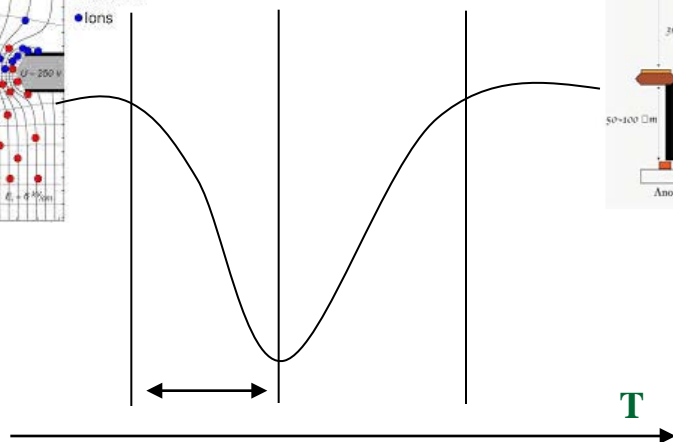
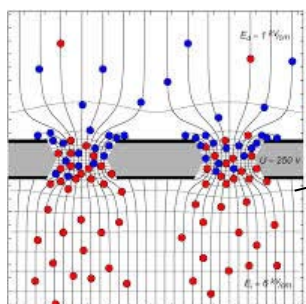


GEM探测器条读出的示意图

# GEM探测器条读出

## ■ GEM信号@感应条

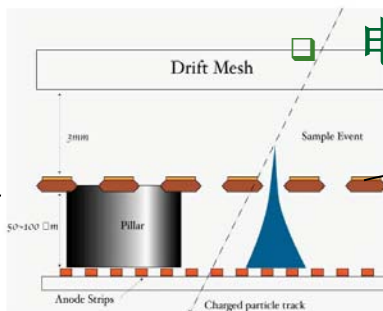
- GEM探测器收集区电子漂移中感应与收集
- 电荷灵敏前置放大器



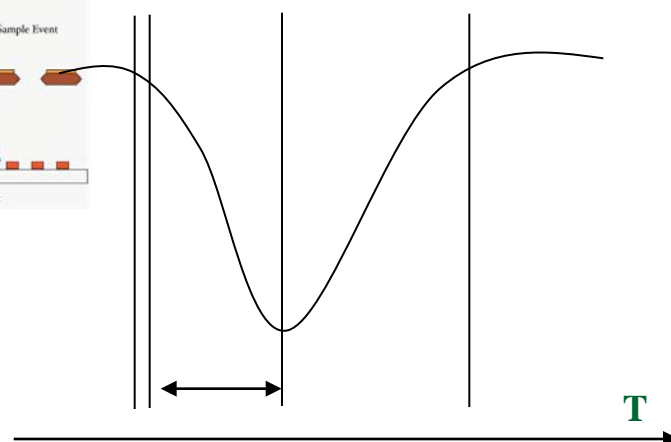
出孔漂移感应信号    感应结束并收集    RC电路放电时间

## ■ Micromegas信号@感应条

- MM探测器电子感应收集, 离子感应



## □ 电荷灵敏前置放大器



电子感应收集    离子漂移感应    RC电路放电时间

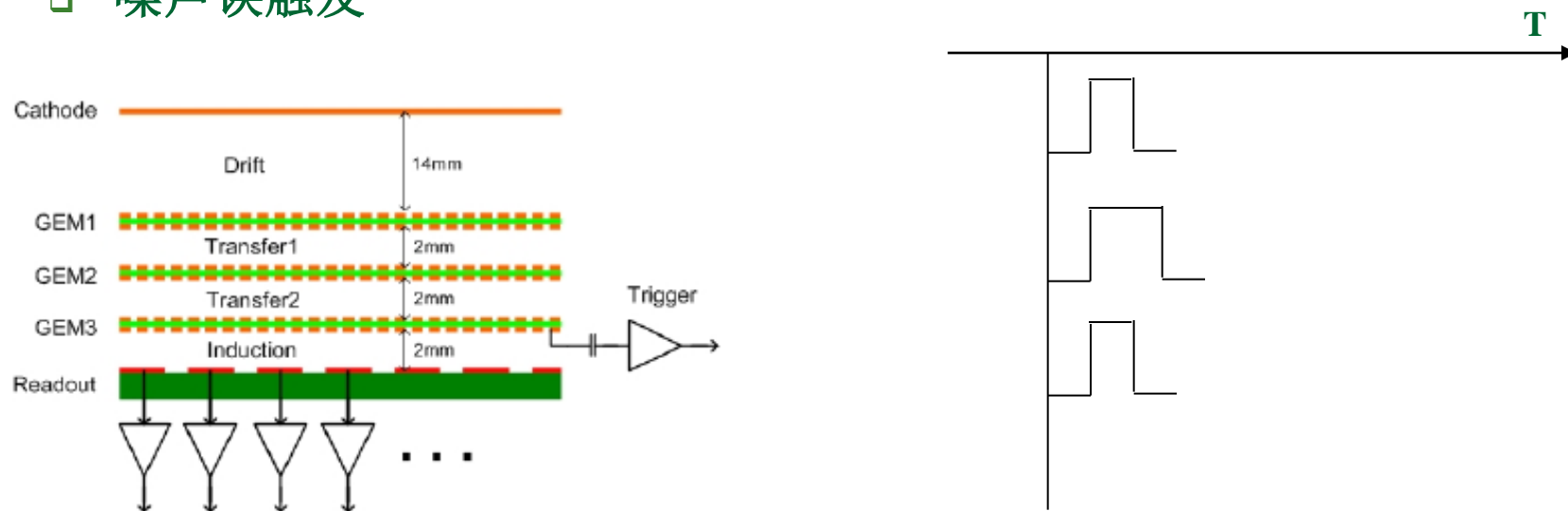
# 电荷灵敏读出方法-触发问题

## ■ 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

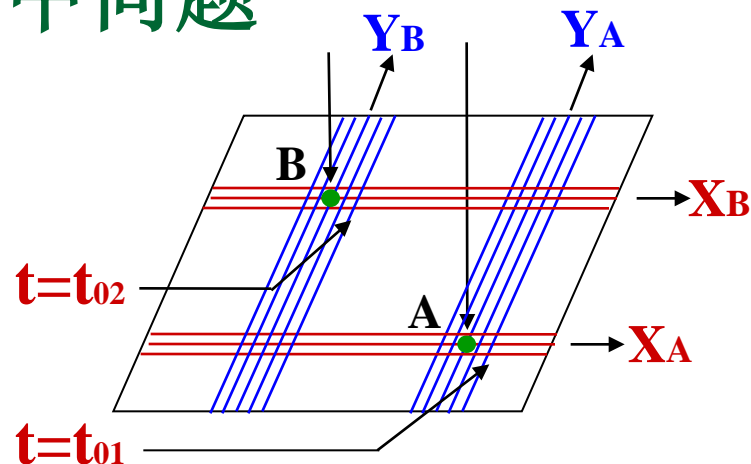
- 时间序列触发
- 判选问题
- 时间序列关系



GEM探测器条读出的示意图

# 电荷灵敏读出方法-多次击中问题

- 在二维平面的多次击中时，存在位置误判选的问题
- 每次事例的每维度上，仅有6~9条的读出条信号输出
- 现在的事例处理中，对于这样的事例仅能以舍弃处理
- 伴随着总计数率的升高，多次击中事例也显著提高，公共触发中，在200kHz的时候，已有~20%的多次击中事例
- 多次击中事例如果可以进行有效判选，在现有获取系统不改变的情况下，可以有效的提高事例率
- 在以时间触发的自触发模式中，如果面向同步辐射的高计数率应用，多次击中的有效判选也有意义



MPGD多次击中定位示意图

由此得4组数据： $X_A, Y_A, X_B, Y_B$ 。存在4种可能的配对：

$$\begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} X_A \\ Y_B \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} X_B \\ Y_A \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \end{bmatrix}$$

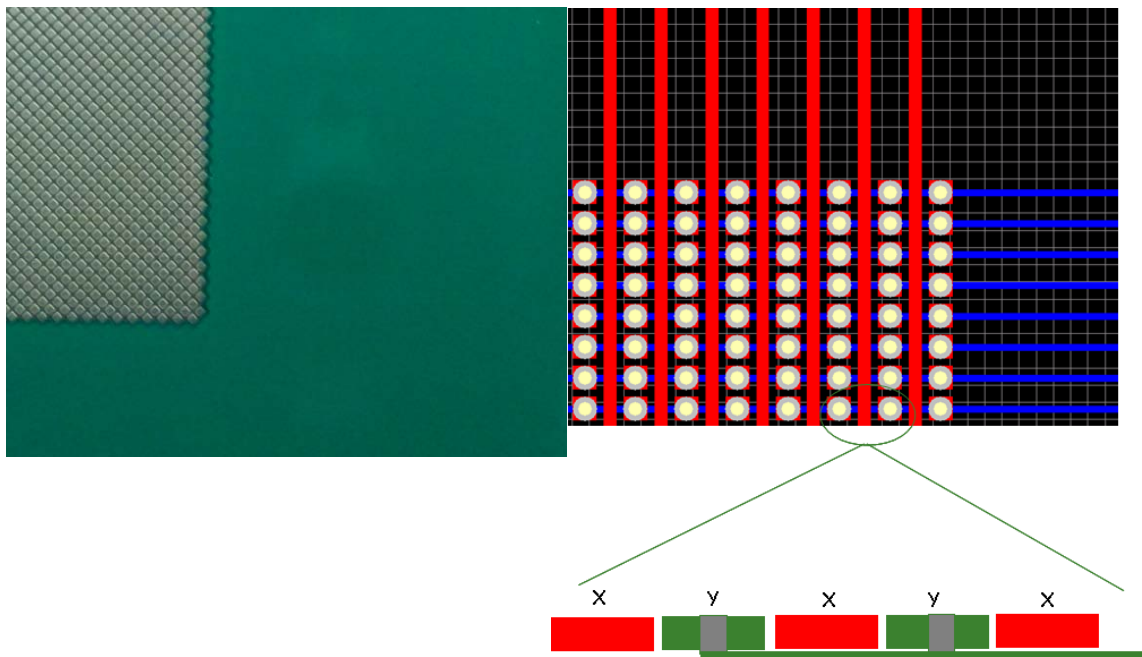
多次击中的位置误判选

# 电荷灵敏读出

- 读出方法
  - 一维为整条，一维为PAD连接
    - 不对称，两维分辨率稍有不同
  - 两维均为PAD连接
    - 对称分布

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

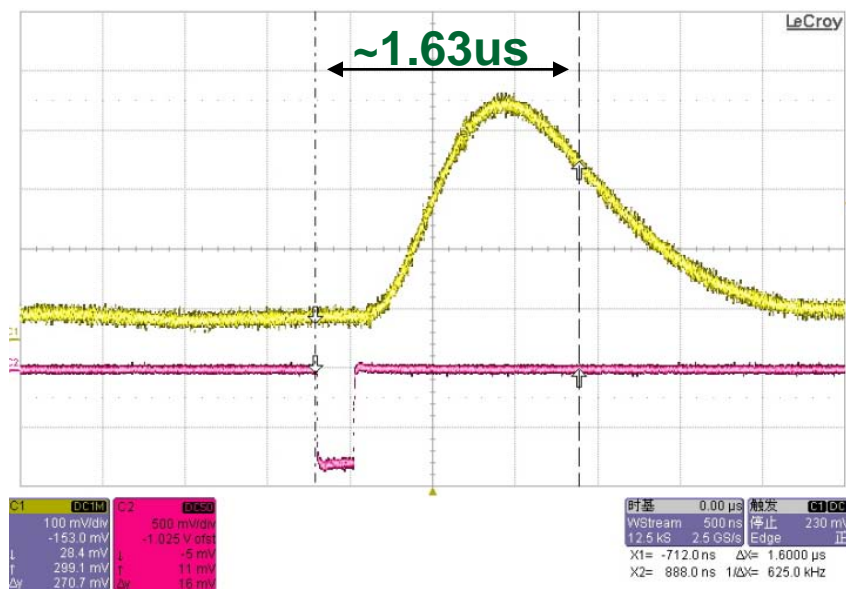
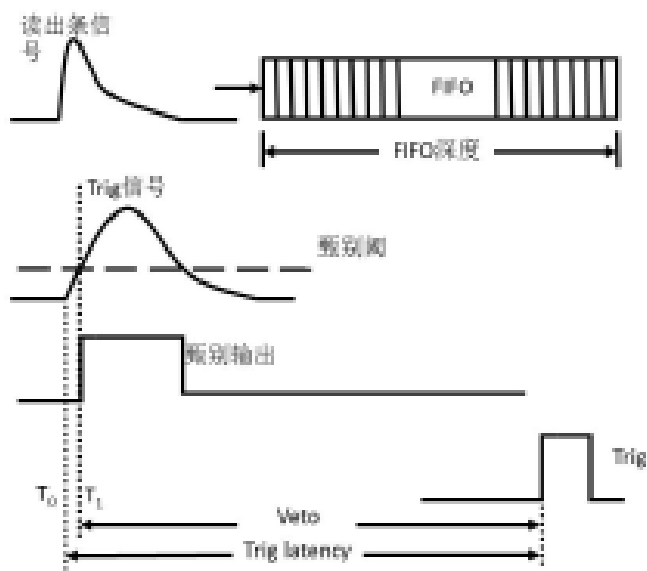
重心法读出方法



- X 方向
  - 读出条数: 267
  - 条宽度: 0.193mm
  - Pitch: 0.752mm
- Y 方向
  - 总读出条数: 437
  - Strip with PADs connected at bottom layer of PCB
  - 宽度: 0.355mm
  - Pitch: 0.457mm
  - PAD: 0.355mm × 0.355mm



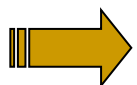
# 电荷灵敏寻峰读出方法



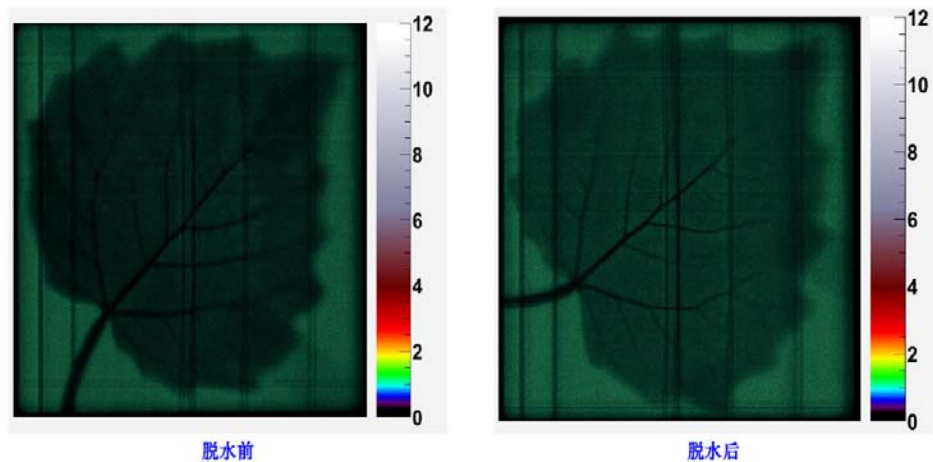
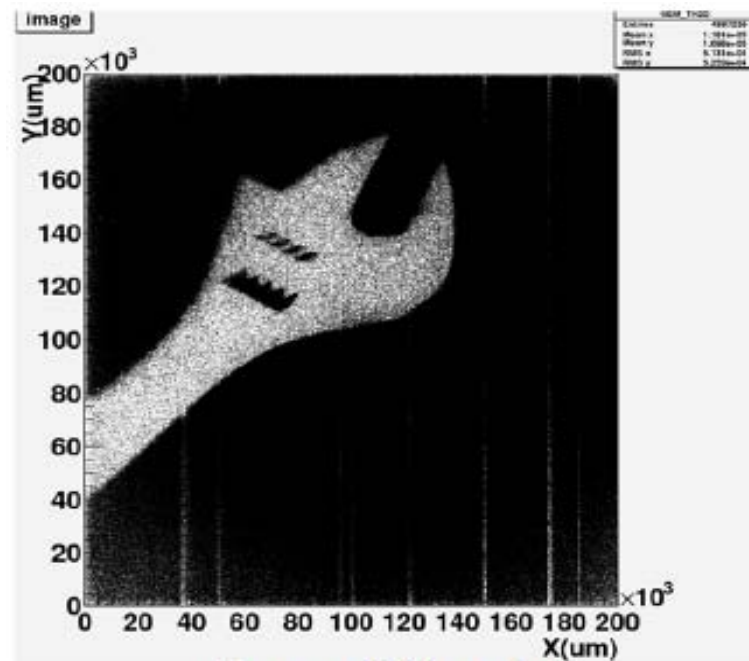
寻峰原理及实际波形时序关系图

# 电荷灵敏寻峰读出方法

- 高计数率成像中的**多次击中问题**
  - 二维成像微结构气体探测器
  - 二维微条重心读出方法
  - 位置分辨率 $\sim 200\ \mu\text{m}$ (FWHM)
  - 无法分辨一个事例中的多次击中
  - 限制成像算法及有效事例效率
  - 全面积计数率 $\sim 200\text{kHz}$



在高计数率的二维成像中，不可避免的需要解决多次击中问题的判选问题，需要从读出方法上继续多次击中问题的研究。

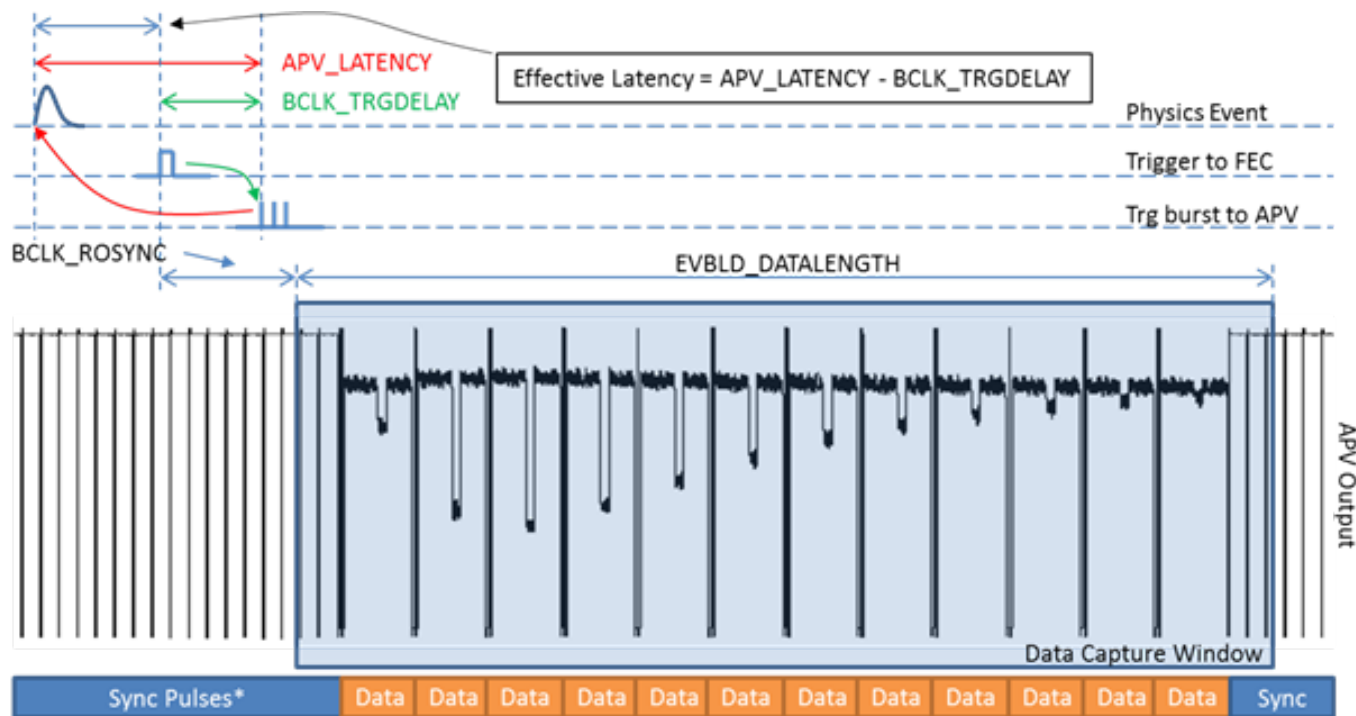


704路读出微结构气体探测器成像结果

# 电荷灵敏读出方法-APV25

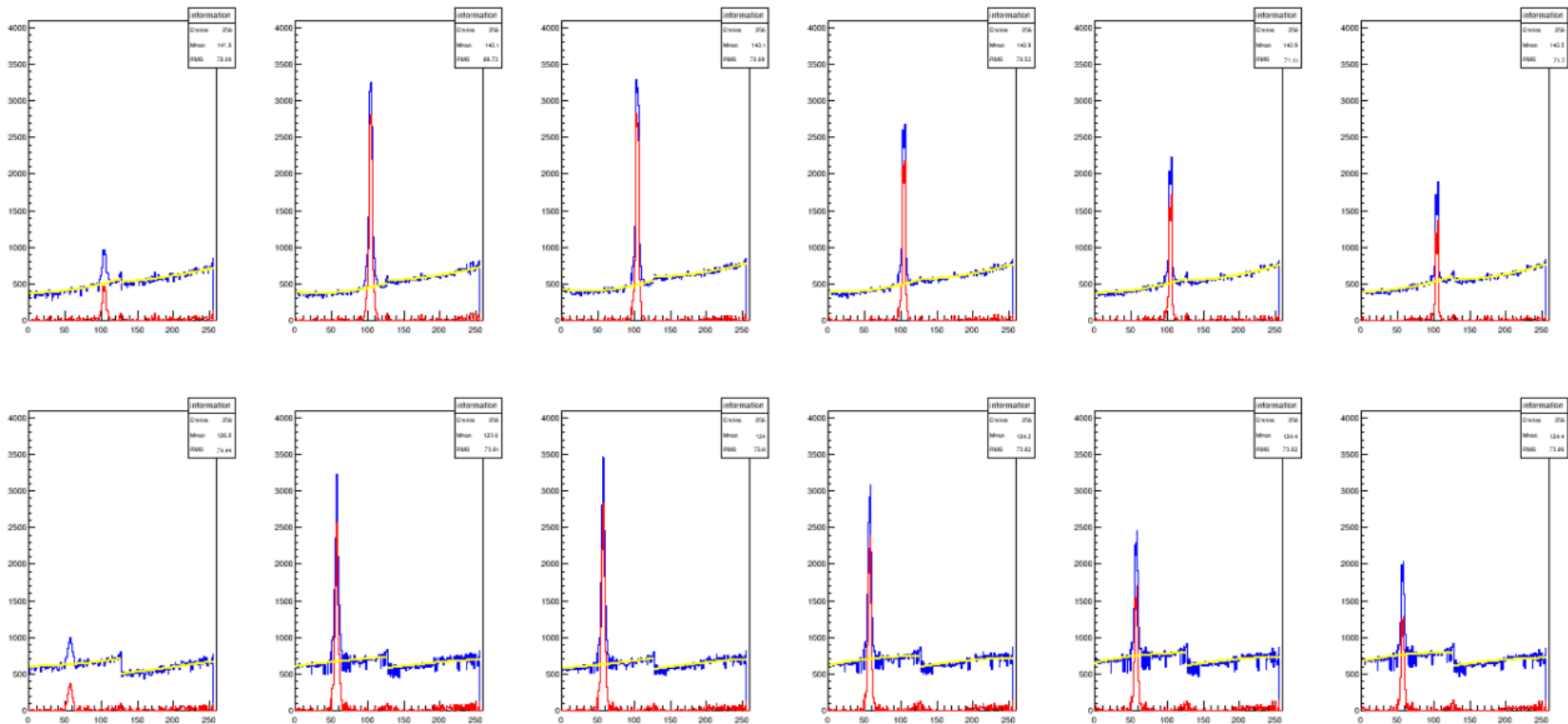
## ■ GEM探测器读出方法

- GEM探测器收集区电子束团具有一定的分散范围，约mm量级



## APV25采集的原理

# 电荷灵敏读出方法-APV25

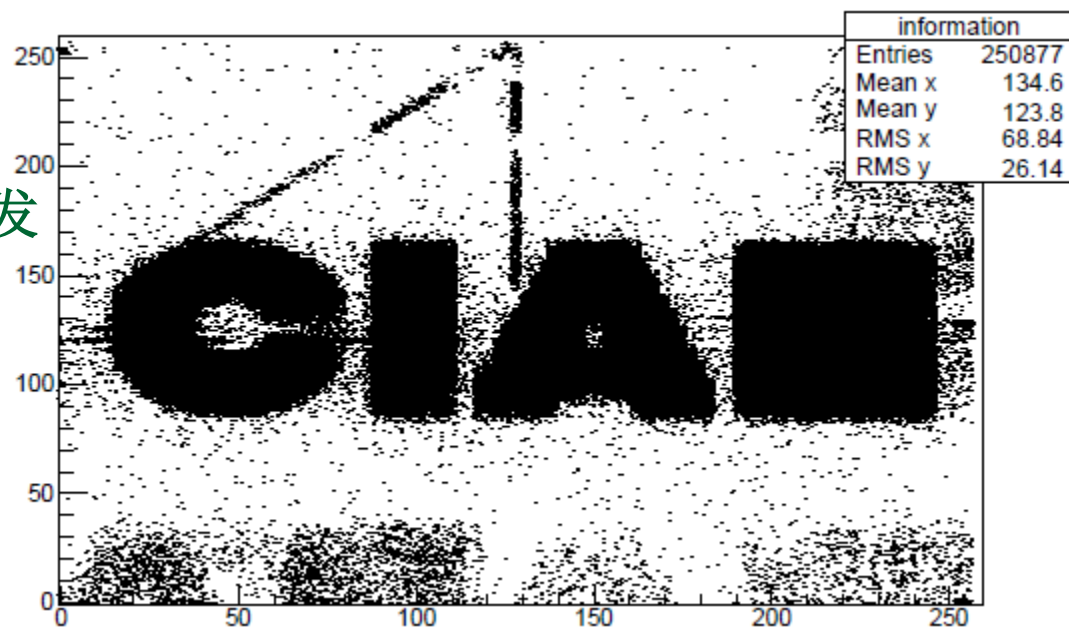


512Ch的APV25实际采集的单次数据@Fe55

# 电荷灵敏读出方法-APV25

## ■ 优势与限制

- 公共触发
- 仅采样前300ns
- <300ns才会出现多处触发问题
- 128CHs并行采集
- 128CHs串行ADC采集
- 传输可1、3、6记录
- 理论最高计数率277KHz
- 可以利用峰值信息进行能量获得
- 位置信息可以高斯拟合



512Ch的GEM探测器成像结果

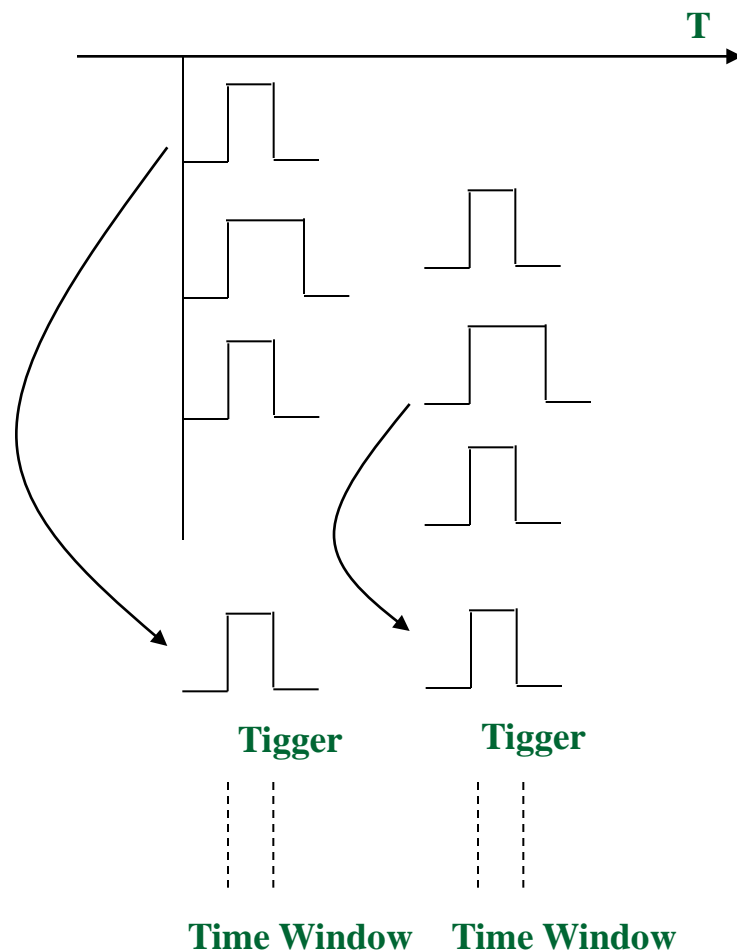
# 一种可能的优化读出方法

## ■ 目标

- 能量信息
- 时间信息
- 位置信息
- TPC研究

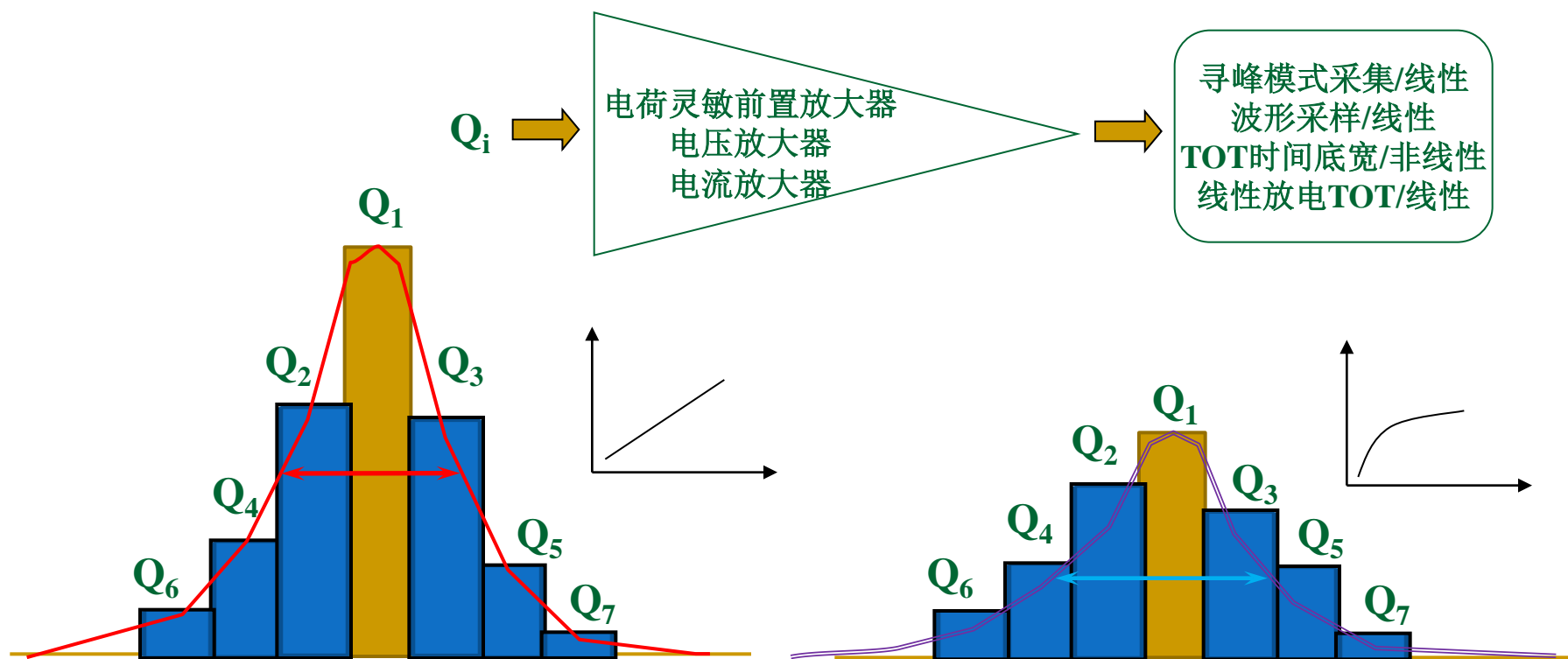
## ■ 方法

- 电荷灵敏
- 自触发
- 时间
- 位置
- 能量
- 数字传输



# GEM探测器条读出

## ■ 相邻读出条的重心法测量精度的影响



线性拟合和非线性拟合示意图

# 条读出设计的考虑

## 几种常用的读出方法

### 阻性平面四角读出法

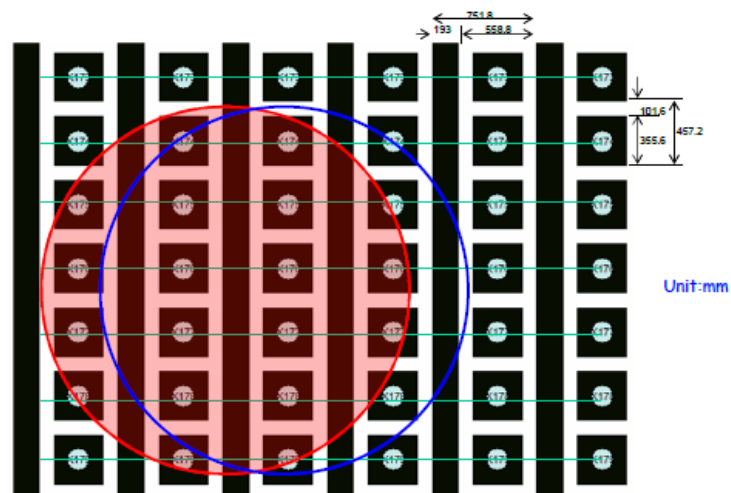
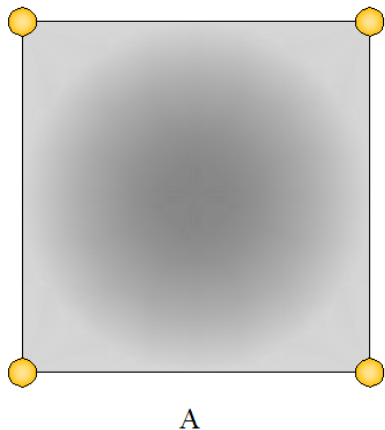
- 优点：简单，读出电子学数少
- 不足：分辨率较低，事例率低

### PAD连接条法

- 优点：读出路数相对少，分辨率高
- 不足：事例率较低，多次击中问题

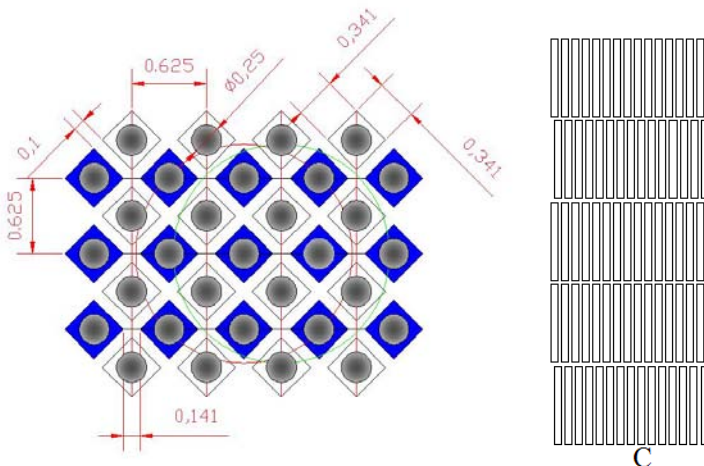
### 条像素读出法

- 优点：径迹取样读出  
分辨率高
- 不足：一维度分辨率差



非对称条读出设计示意图

(X方向Pitch:752 $\mu\text{m}$ ; Y方向Pitch:457 $\mu\text{m}$ )



三种气体读出方法条设计示意图

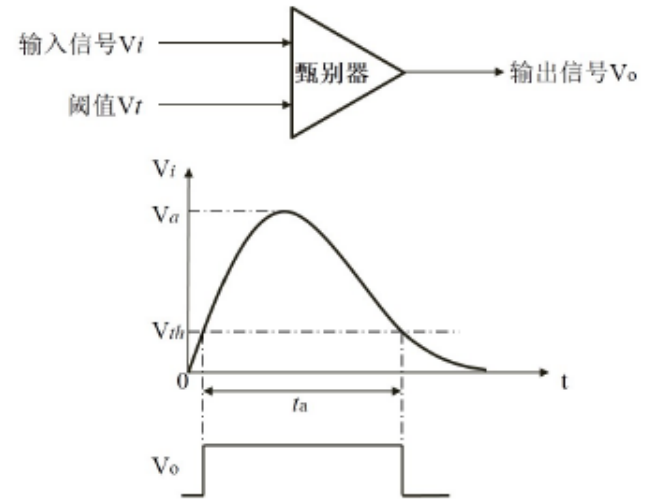
(A、阻性平面法 B、Pad连接条法 C、条像素法)



# TOT读出方法

## ■ TOT读出方法原理:

- 信号输入甄别器
- 阈值设定
- 上升及下降沿甄别
- 输出甄别信号底宽度 $T$
- 底宽与信号幅度或者电荷量存在一定的非线性关系

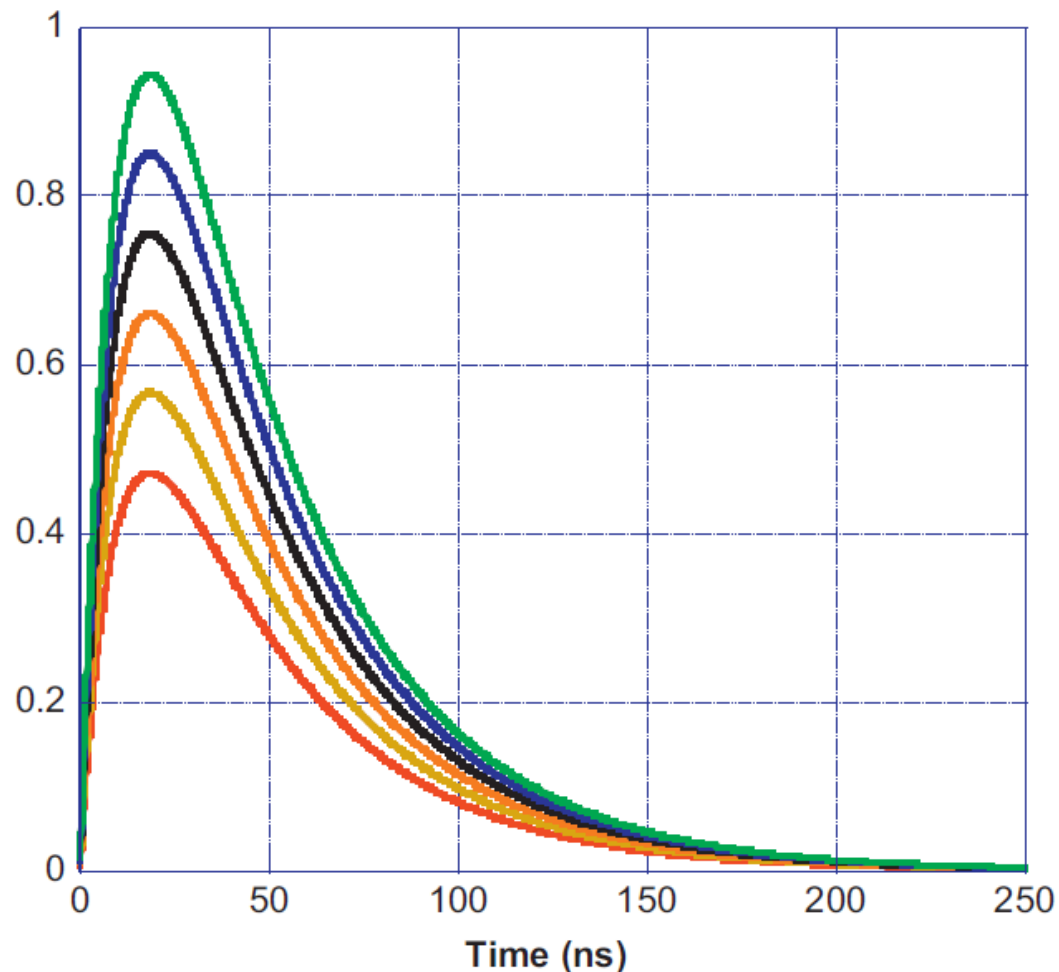


基于TOT的测量原理图示意图

# TOT方法读出的基础

## ■ 波形要求

- 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
- 噪声水平需要尽量低，1fC左右的噪声

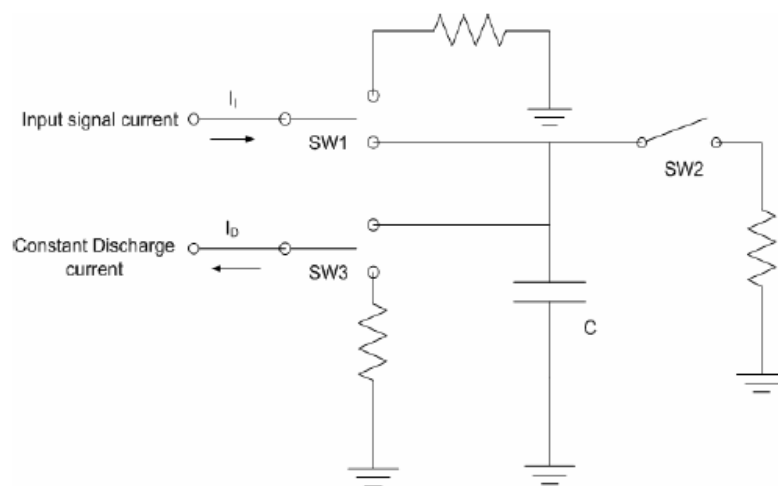
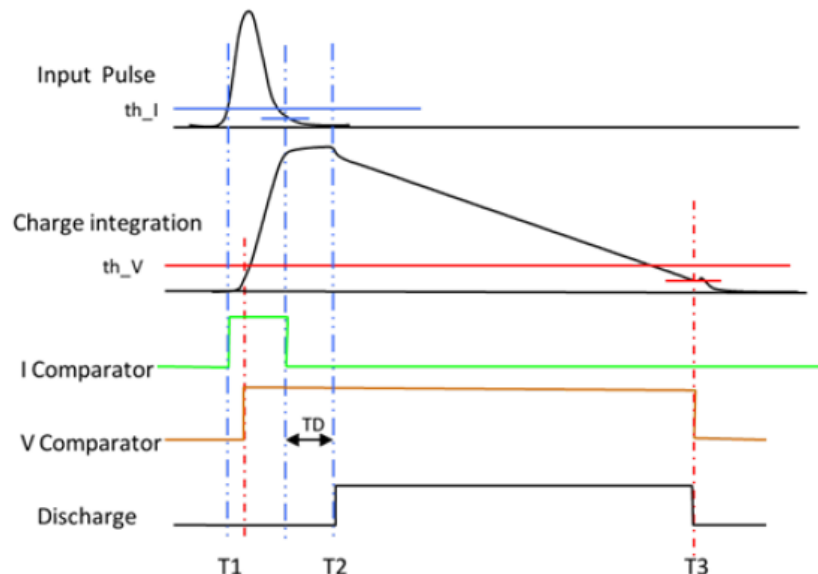


基于TOT的GEM波形的特性示意图

# 线性放电TOT

## ■ 线性放电的TOT工作原理图:

- 信号输出的绿色IComparator代表了信号达到的时间点（TT信号）
- 黑色线Discharge代表了信号Q量的等效放大时间宽度信息（TQ信号）
- 50欧姆匹配传输
- 测量阈值大小可调



工作原理波形图

# 线性放电TOT

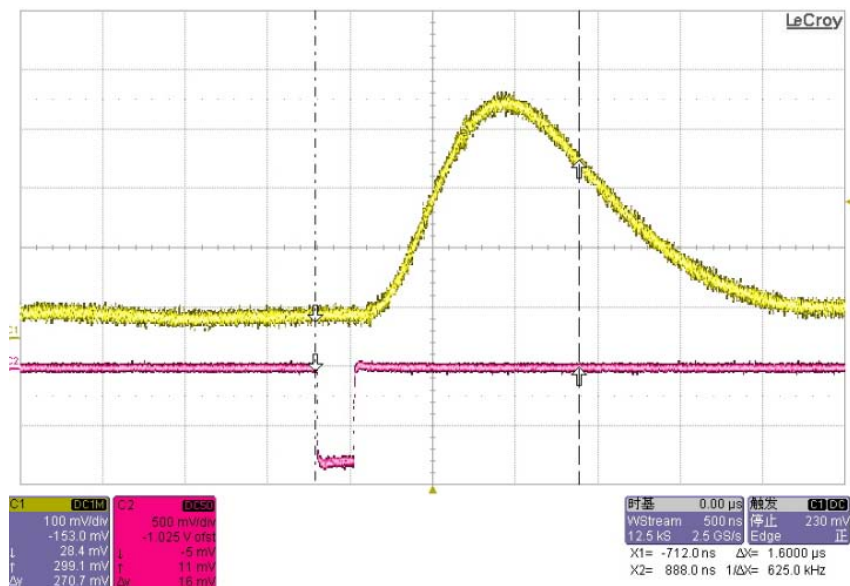
## ■ TIMPIC芯片的主要性能:

- 每路功耗~10mW, 可驱动50 ohm 电缆
- T 定时精度 (time jitter) 200-300p, 对50ns 上升时间的信号
- 需要在输入极馈入pC量级的信号, 因此前级需要前置放大器
- 正脉冲输入、工作电压+5V、-5V

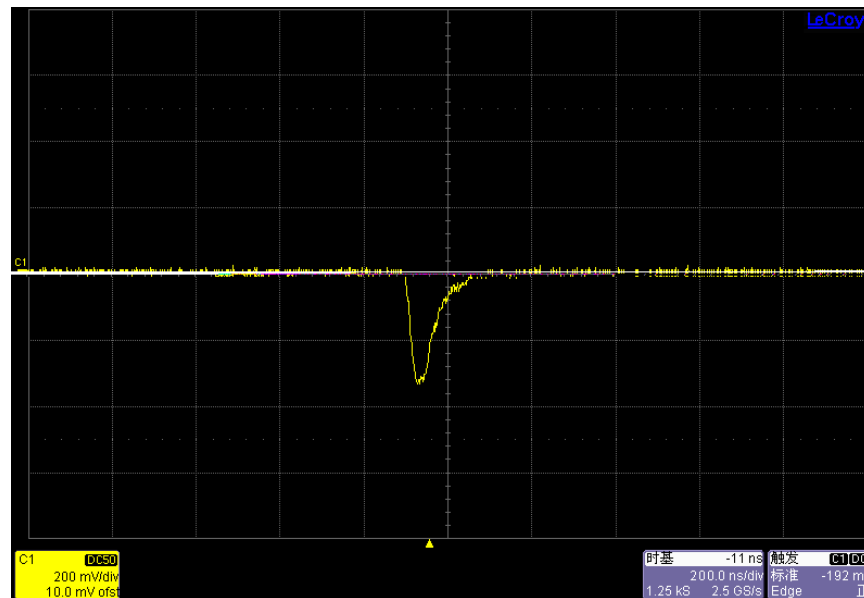
<b>Dual Input Range</b>	1000pC	<b>Input channel number</b>	8chs
<b>Noise charge (RMS)</b>	< 25ofC	<b>Output channel number</b>	8chs
<b>Bandwidth</b>	>100MHz	<b>Amplitude output number</b>	1
<b>Input Impedance</b>	~500hm	<b>16-channel current SUM</b>	1
<b>Timing resolution</b>	~1ns (FWHM)	<b>Common trigger</b>	1
<b>Power Consumption</b>	<10mW/channel	<b>adjustable range of discharge current</b>	6 to 50μA

# 线性放电TOT

- 改进前置放大器:
  - 仅输出负信号 → 输出正、负两路差分信号
  - 信号宽度底 $>500\text{ns}$  → 信号底宽度 $\sim 200\text{ns}$
  - 噪声峰峰值 $\sim 15\text{mV}$  → 噪声峰峰值 $\sim 25\text{mV}$
  - 电荷等效放大增益约为1000



改进前FADC寻峰窗口时序关系



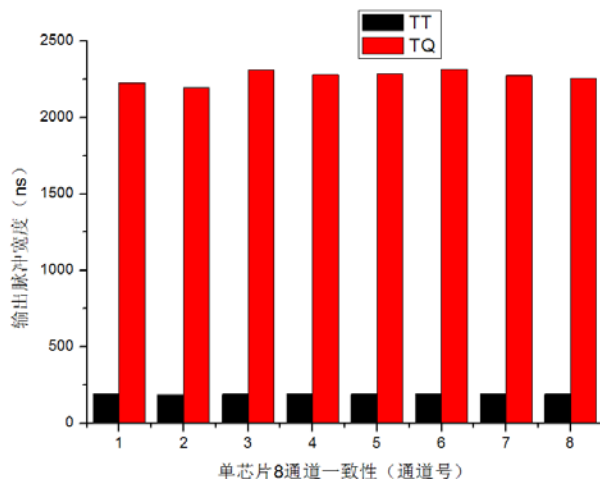
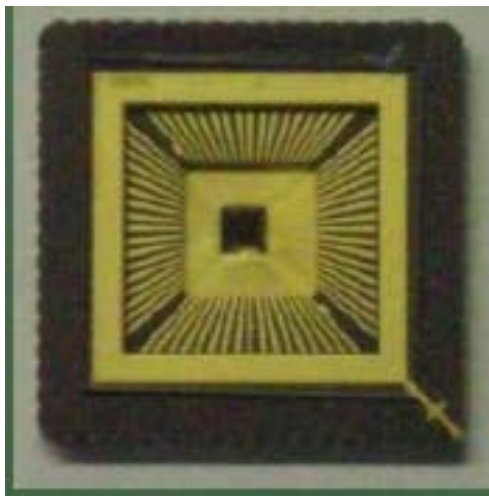
改进后前置放大器的输出信号

# 线性放电TOT

- 芯片通道一致性测量：
  - 两个芯片
  - 每个芯片的能够处理的路数为8路
  - 每路输出后分别为TT与TQ两路时间宽度输出
  - 每个芯片共输出有16路（含8路TT和8路TQ信息）
  - 8路输出的一致性基本可以达到95%以上



安装两块TOT芯片的测试板实物图

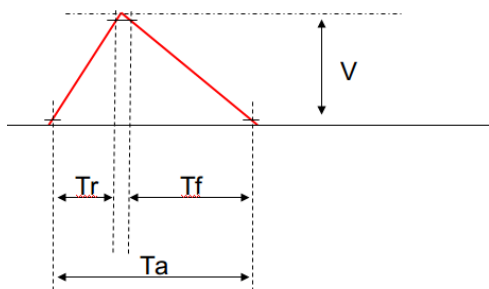


TOT芯片实物图与8路通道一致性

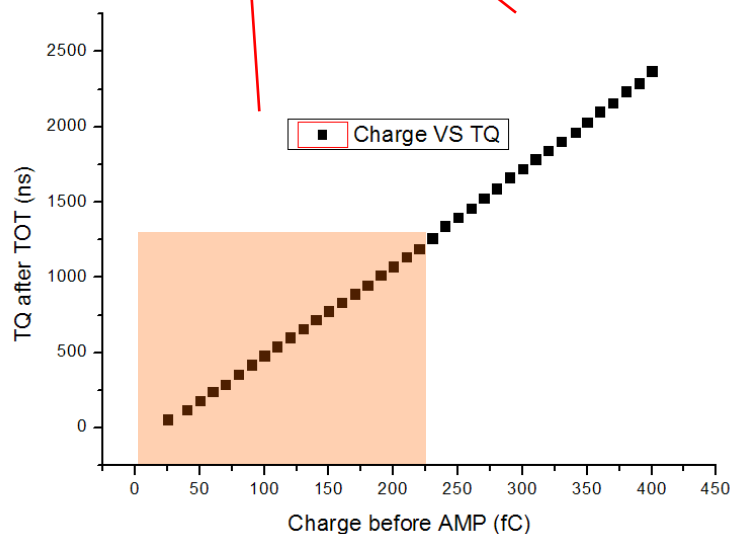
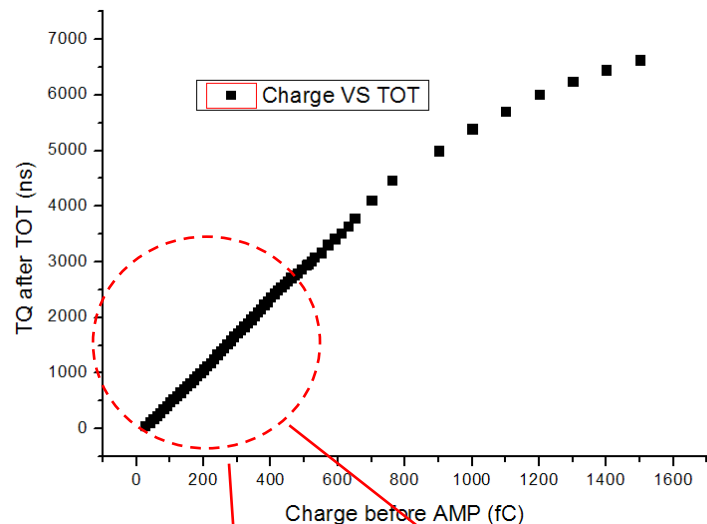
# 测量结果分析

## ■ 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层级联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



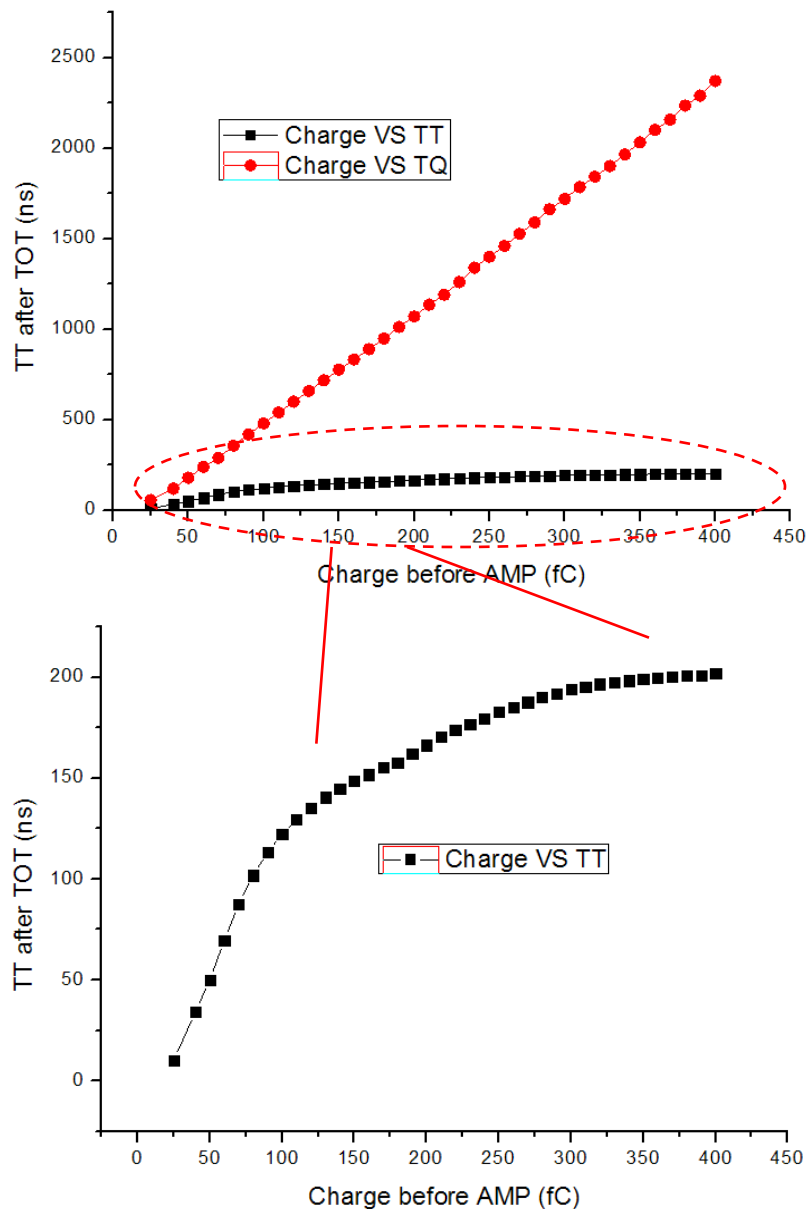
输入等效电荷量的波形



前放端等效输入电荷量与输出TQ宽度关系

# 测量结果分析

- TT、TQ与输入等效电荷量线性关系
  - 输出脉冲底宽TT与输入等效电荷量存在非线性的饱和趋势
  - 输出脉冲线性放电与输入等效电荷量为线性关系
  - 电荷量为等效输入前置放大器的前端电荷量

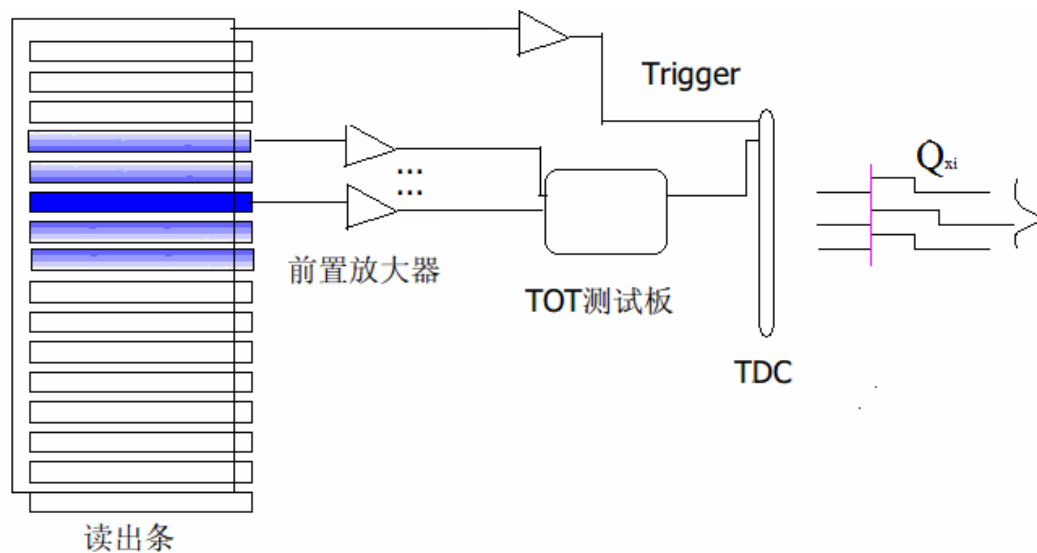




# 测量结果分析

## ■ 位置分辨率测量方法:

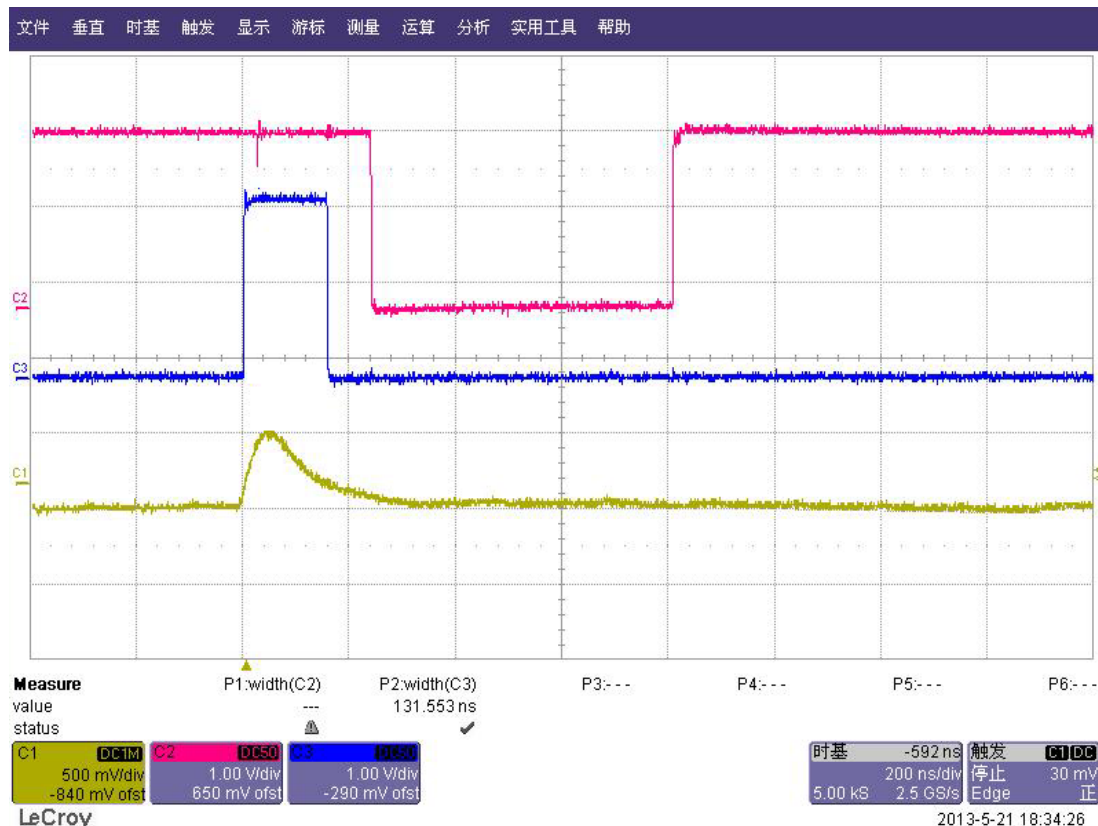
- Y方向Pitch:457 $\mu\text{m}$ 测量
- 16条引出
- 第三层GEM下表面触发
- 改进的前置放大器
- Philips TDC (型号7186、CAMAC Model)



测量方法示意图

# 测量结果分析

- 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 $500\text{mV}$
- 蓝色线为TOT对于此信号的前沿甄别输出信号TT，宽度约为 $180\text{ns}$
- 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 $550\text{ns}$
- 该信号的前放端之前馈入的电荷量约为 $120\text{fC}$

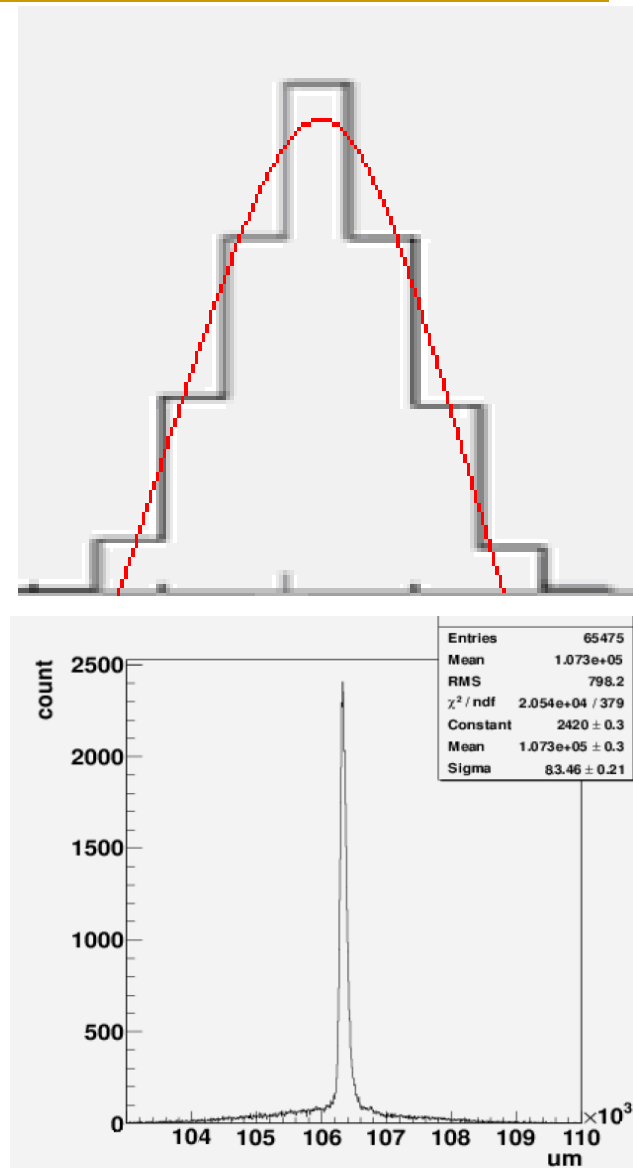


典型的条读出TOT条各路输出波形@ $^{55}\text{Fe}$

(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)

# 测量结果分析

- 位置分辨率测量结果：
  - 单次事例击中的条数在3~7条
  - 最可几的条数为5条
  - X光机（管电压10KV，管电流0.8mA）
  - 20 $\mu\text{m}$ 准直狭缝（长度14mm，深度8mm）
  - 在70,000次的计数去除单次击中小于3条的事例
  - 位置分辨率结果约196.6 $\mu\text{m}$ （FWHM）
  - 三层级联GEM探测器
  - 工作气体Ar/CO<sub>2</sub>:90/10

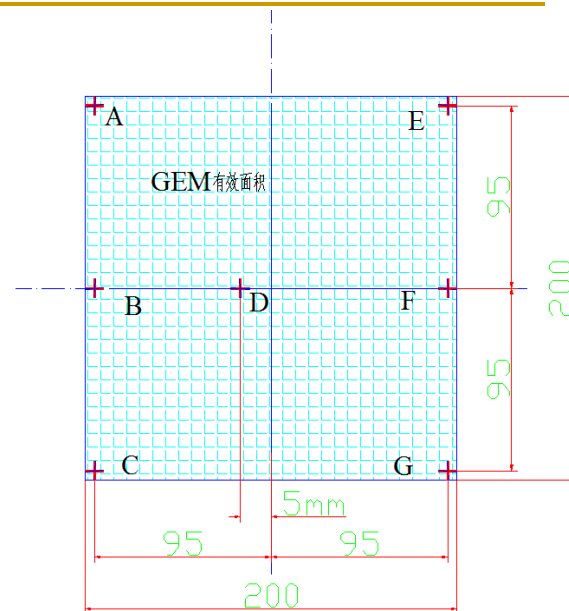
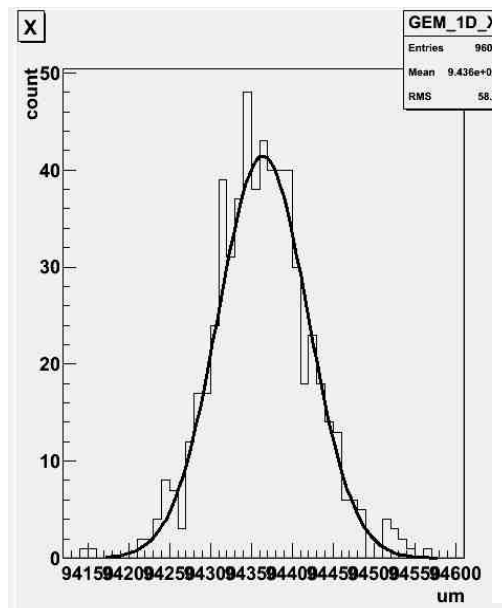


单次事例击中和位置分辨率@X光机/20 $\mu\text{m}$ 准直狭缝

# 结果比较

## 电荷寻峰法位置分辨率:

- 全面积测量了14个点
- 7个X方向, 7个Y方向
- 不一致性由于狭缝的对位
- 分布在中心和边缘区域
- 有效面积 $200\text{mm}^2$
- 三层级联标准GEM
- 工作气体Ar/CO<sub>2</sub>:90/10
- **TOT方法结果相当**



测量点	Y方向 ( $\mu\text{m}$ )		X方向 ( $\mu\text{m}$ )	
	$\delta$	FWHM	$\delta$	FWHM
A	47.0	110.685	85.0	200.175
B	49.0	115.395	80.0	188.4
C	55.1	129.761	87.2	205.356
D	49.5	116.572	82.1	193.34
E	65.6	154.488	98.0	230.79
F	60.0	141.345	93.0	219.015
G	54.0	127.17	68.0	160.14

# 小结及下一步计划

- 测量了TOT的各通道的线性参量和一致性
- 利用16路通道的TOT与GEM探测器进行了联调和测量
- 满足高计数的处理信号宽度~200ns
- 重心法测量得到位置分辨率 $196.6\mu\text{m}@20\mu\text{m}$ 准直狭缝(FWHM)
- 与“电荷灵敏结合数字化寻峰模式”的结果相当
- 确证了该TOT方法可用于气体探测器读出的方案
- 结合TT的起始时间，计划完成时间采样的自触发方法测量，研究时间  
投影室TPC探测器条像素读出方法的可行性

---

# 谢谢!