

# 基于**GEM**探测器的二维插值读出方法研究

中国科学院高能物理研究所

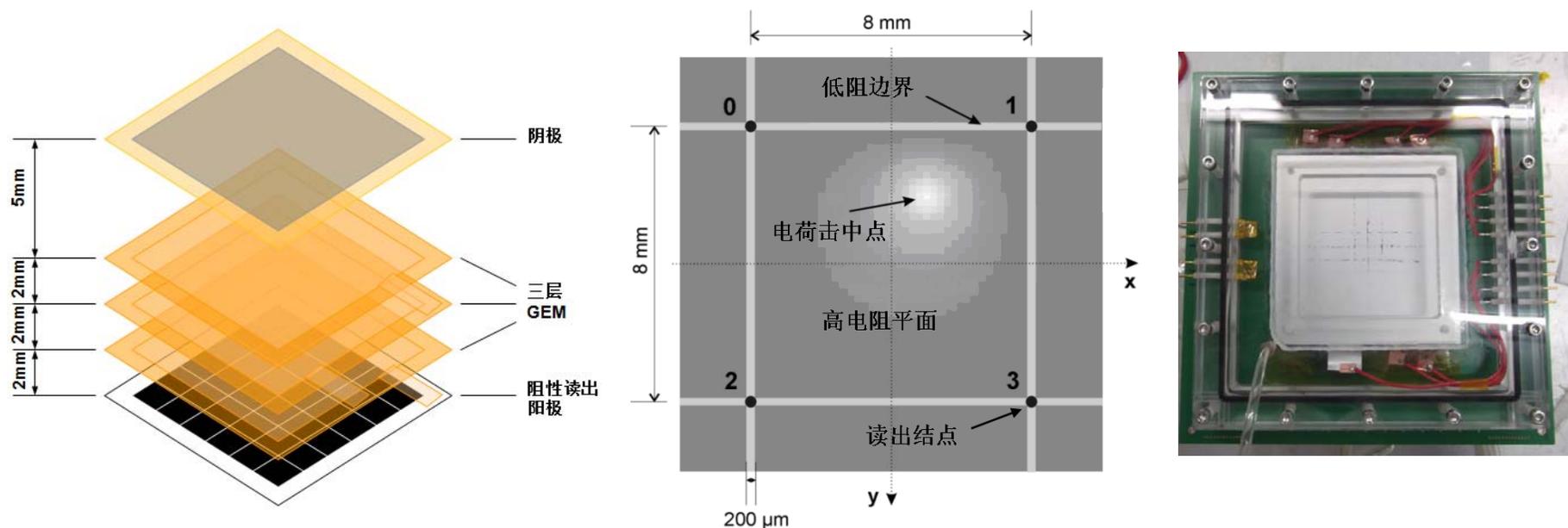
核探测与核电子学国家重点实验室

修青磊 董明义

# Introduction

- 目前，二维位置灵敏探测器的应用越来越广泛：高能物理，医学成像，天体物理，同步辐射等等
- 位置灵敏的读出方法主要可以分为两类：
  - 直接读出：二维像素阵列，条读出
  - 插值读出：电荷分配，延迟线读出
  - 直接读出需要的电子学路数巨大，虽然随着ASIC技术的发展，单通道电子学的成本将有所下降，但插值读出对于大面积探测器（大型谱仪的外层探测器）仍具有很大的吸引力
  - 同时，对一些投入不是很高的实验，直接读出所需的费用将无法忍受，因此，国内外对插值读出方法的研究从未停止过
- 1997年，H. J. Besch等人发展出了一种可以适应大面积探测器应用的二维插值读出方法，试用于微结构气体探测器上，并在同步辐射小角散射等实验上得到较好的成像效果

# 探测器设计及测试系统



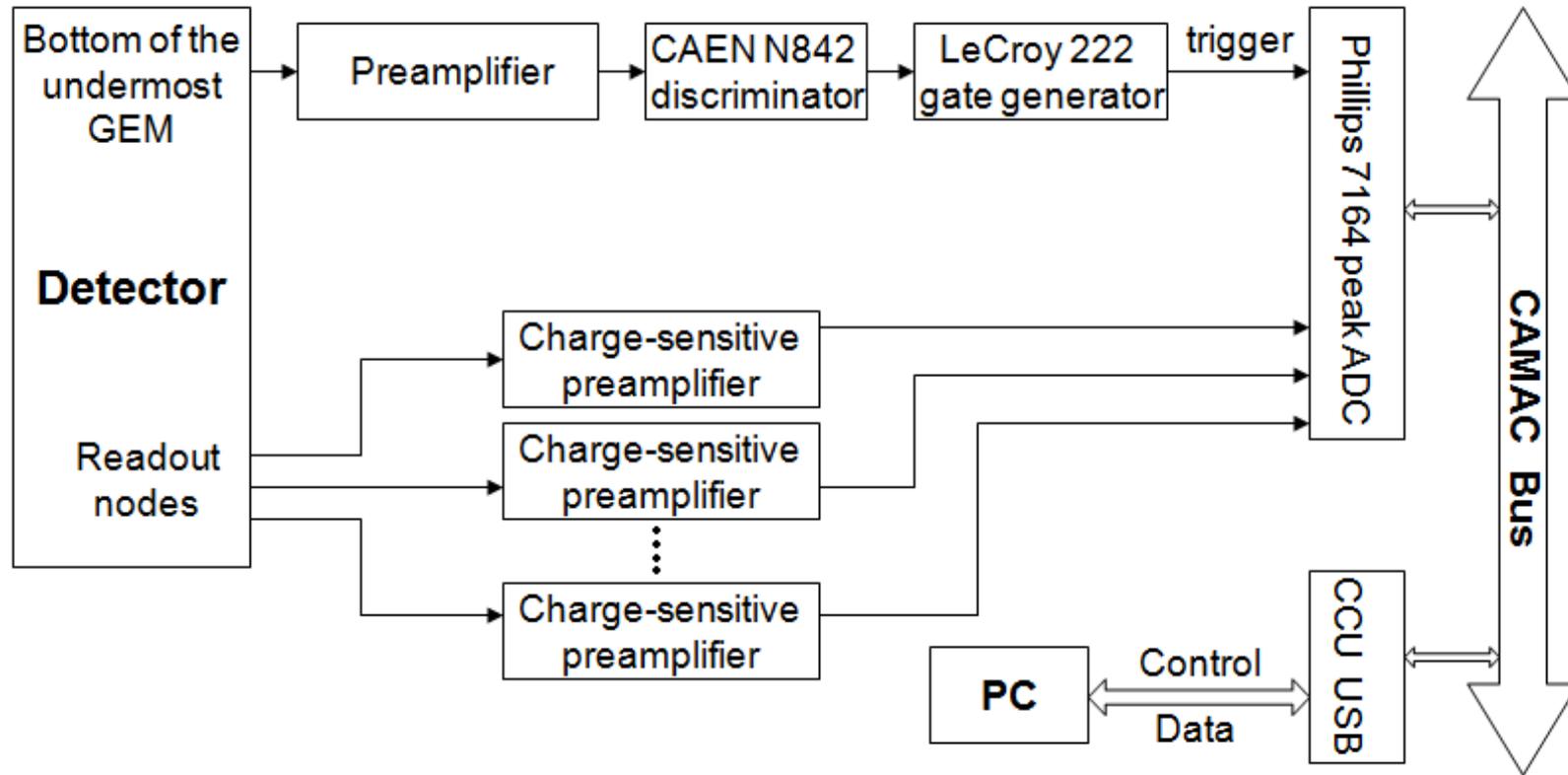
- ◆ 设计了基于GEM探测器的二维插值读出结构
- ◆ 阳极由高电阻平面（ $1\text{M}\Omega/\square$ ）、低阻边界（ $10\text{k}\Omega/\square$ ）组成的pad构成，通过每个pad的四个电极收集到的电荷量重建入射位置

$$x_4 = l \frac{Q_1 + Q_3}{Q_0 + Q_1 + Q_2 + Q_3}$$

$$y_4 = l \frac{Q_0 + Q_2}{Q_0 + Q_1 + Q_2 + Q_3}$$

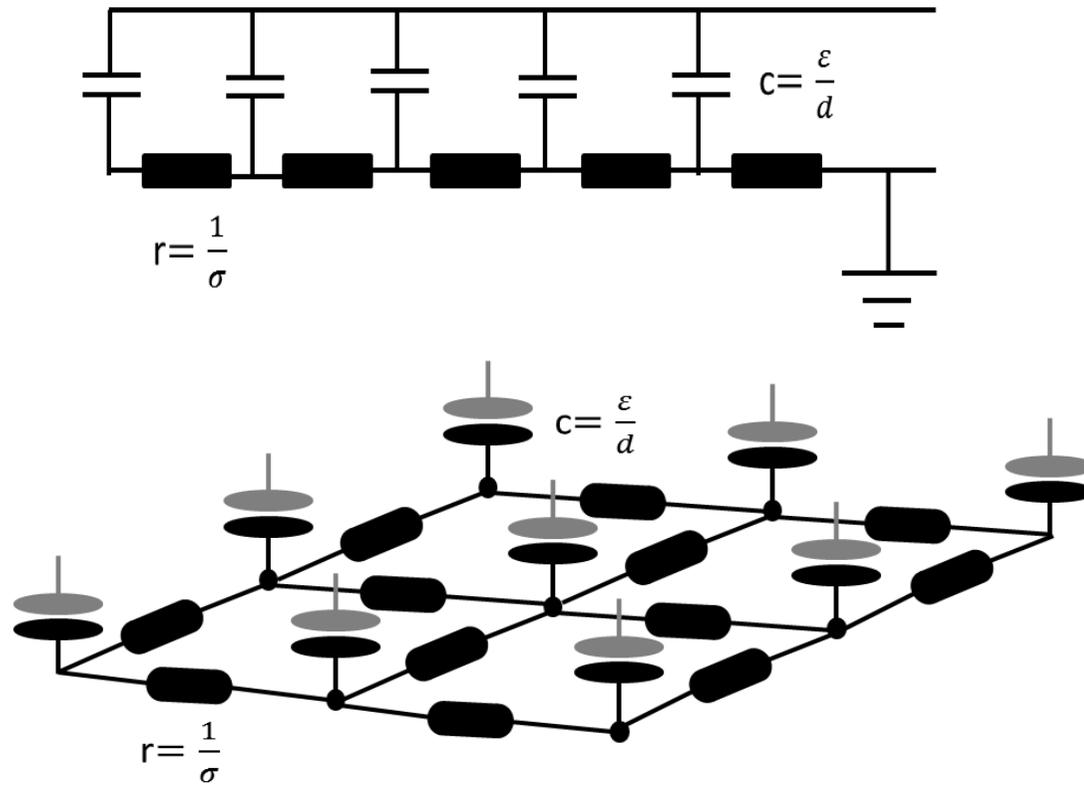
- ◆ 利用cm级的pad实现精确定位，大大减少读出电子学通道，并有效抑制打火，确保探测器稳定工作

# 电子学设置

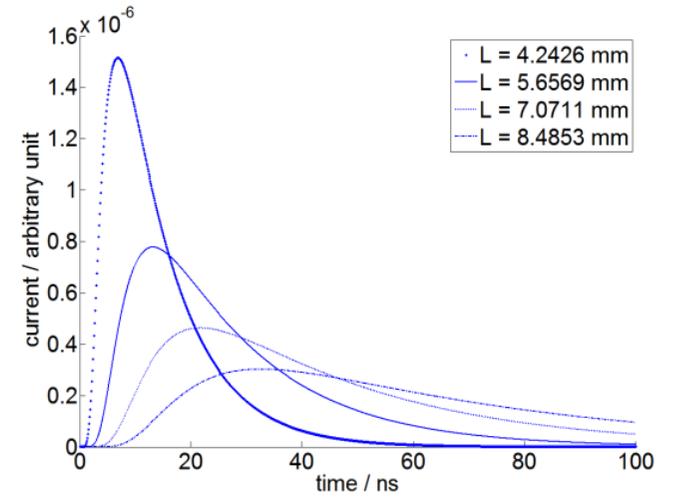
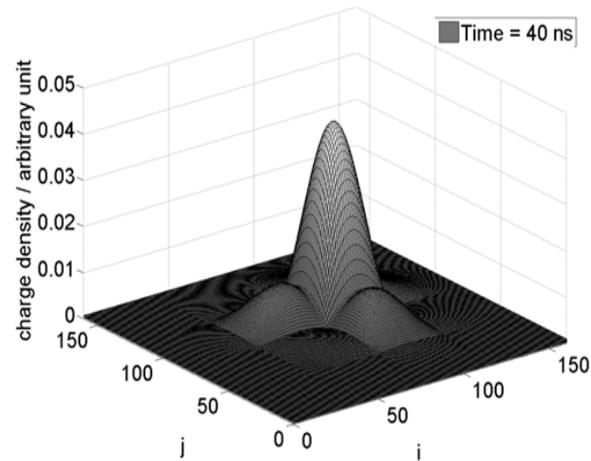
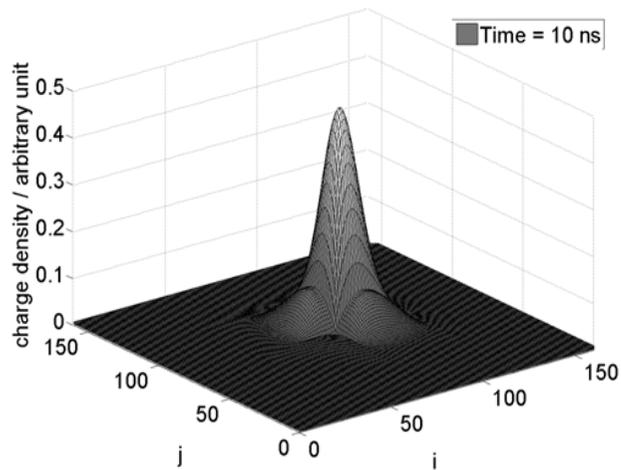
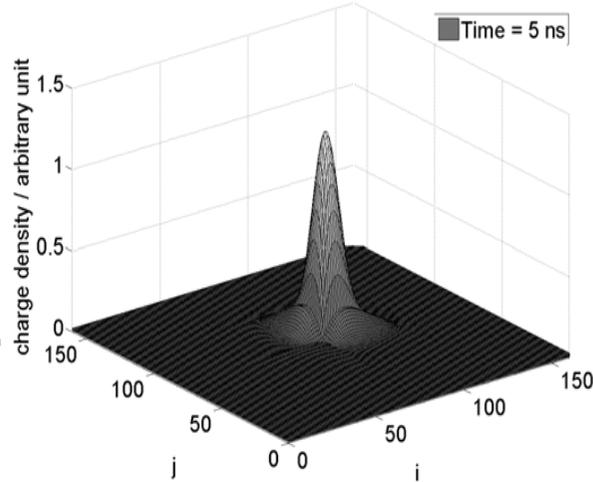
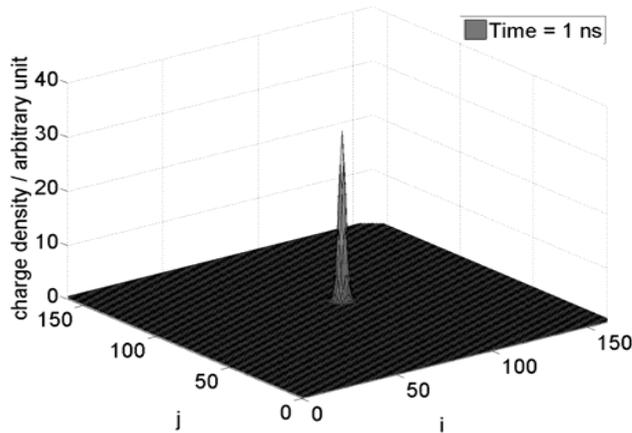


# 数值模拟

阳极阻性表面和最下面的GEM金属膜构成二维RC网络，可以用扩散模型加以描述，利用该模型可以模拟电荷扩散的运动过程

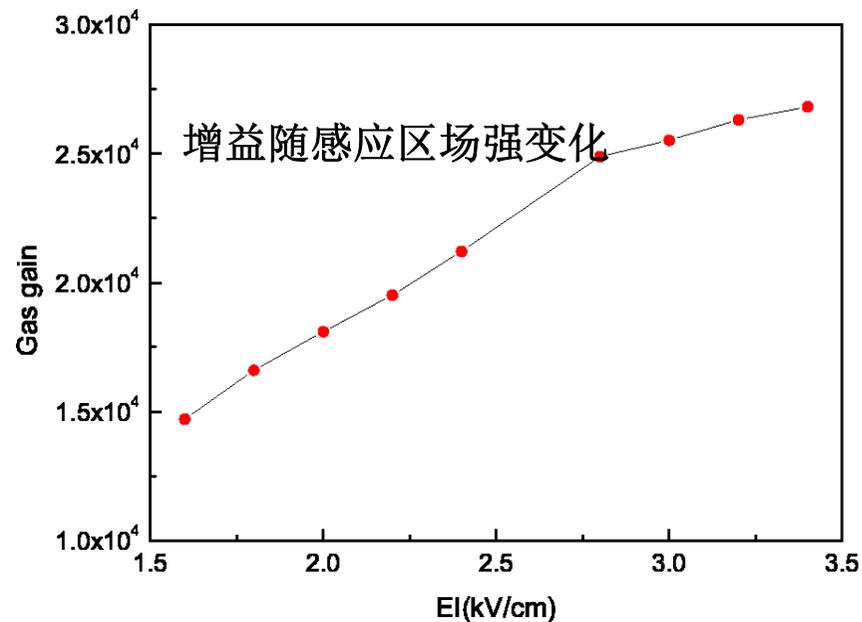
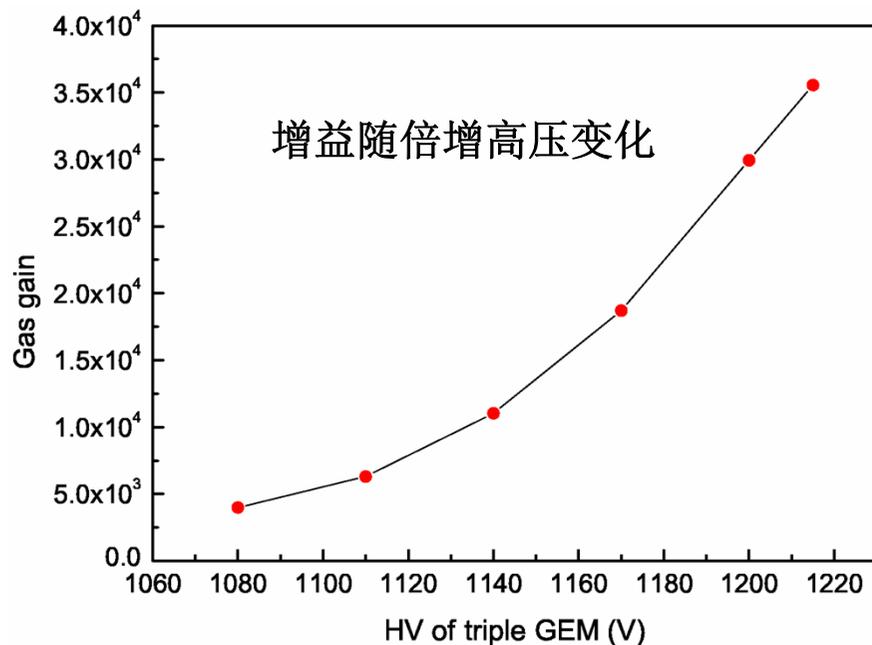


# 时间特性



收集时间约几百ns  
理论上可以在  
 $10^6\text{Hz}$  计数率下工  
作

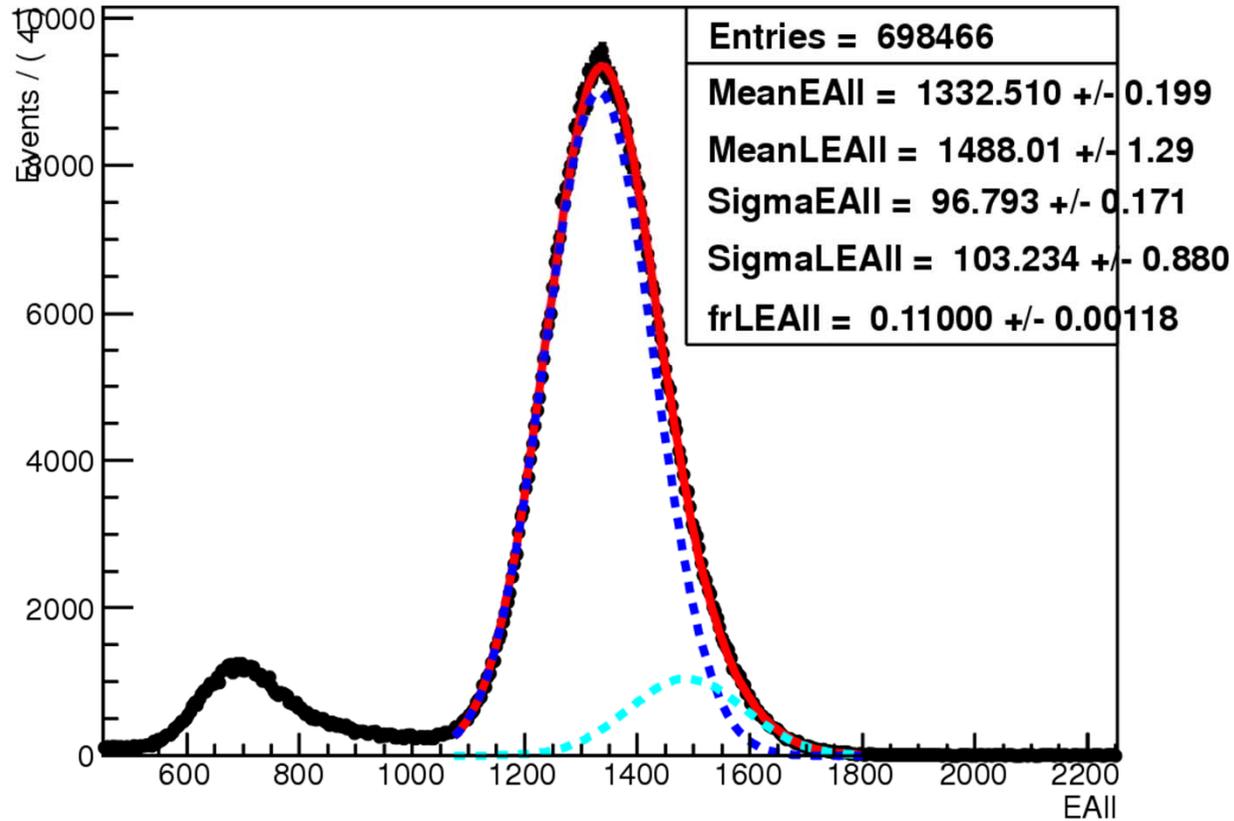
# 探测器性能测试



- 增益随**GEM**倍增高压升高而增大，为典型的指数关系
- 增益随感应区场强增大逐渐达到饱和
- 探测器可以在增益为 $3.5 \times 10^4$ 高增益下稳定工作

# 探测器能量分辨率

A RooPlot of "EAll"



能量分辨: 17.2%@5.9Kev; 16.2%@6.49Kev

6.49、5.9Kev峰位比: 1.117(理论值: 1.113)

# 二维位置重建算法研究

单pad的四个读出结点收集的电荷可以对pad中心区域的hit有较好的重建效果(4极点方法), 为了消除单pad重建造成边界的畸变, 需要用到周围pad收集的电荷信息

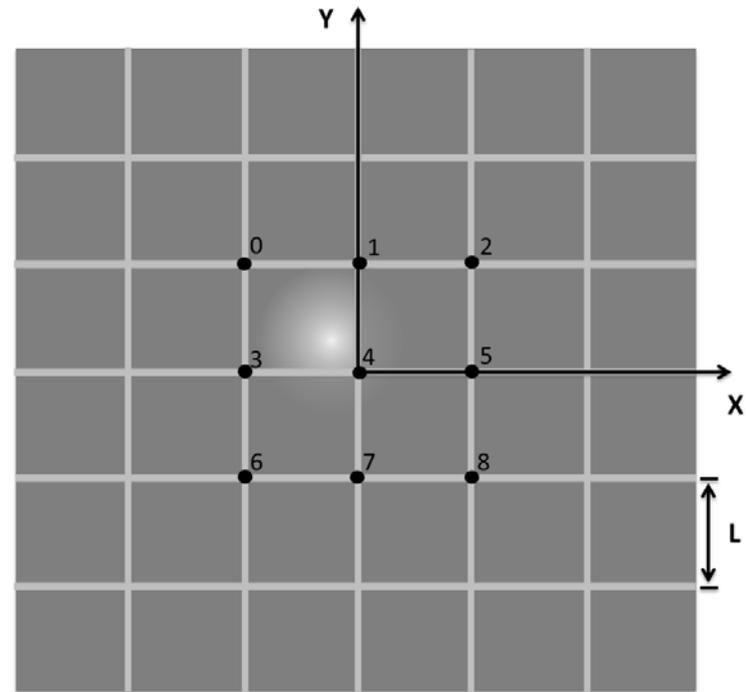
## 6极点方法

$$x_6 = l \frac{(Q_2 + Q_5) - (Q_0 + Q_3)}{Q_0 + Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5}$$

$$y_6 = l \frac{(Q_0 + Q_1) - (Q_6 + Q_7)}{Q_0 + Q_1 + Q_3 + Q_4 + Q_6 + Q_7}$$

## 3极点方法

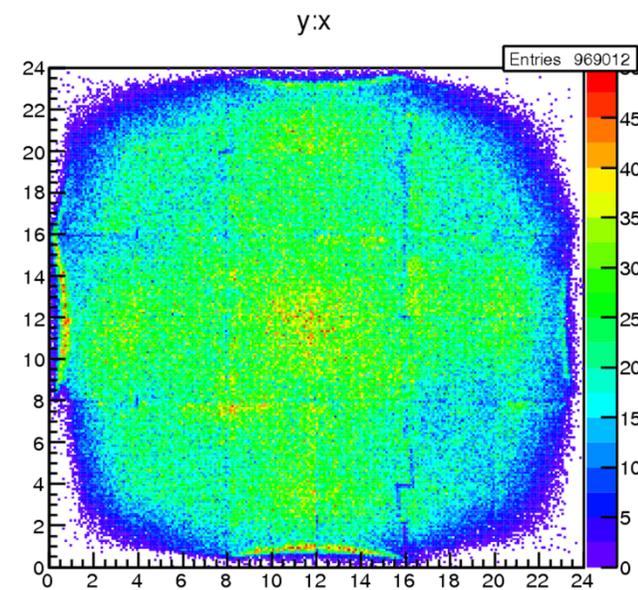
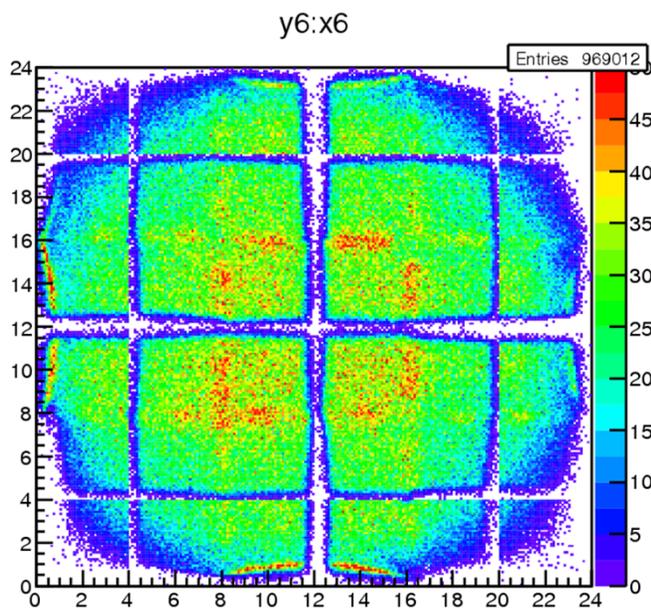
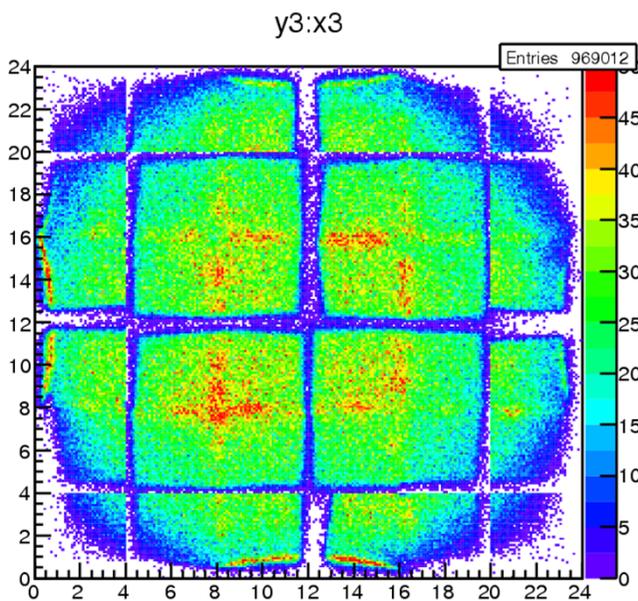
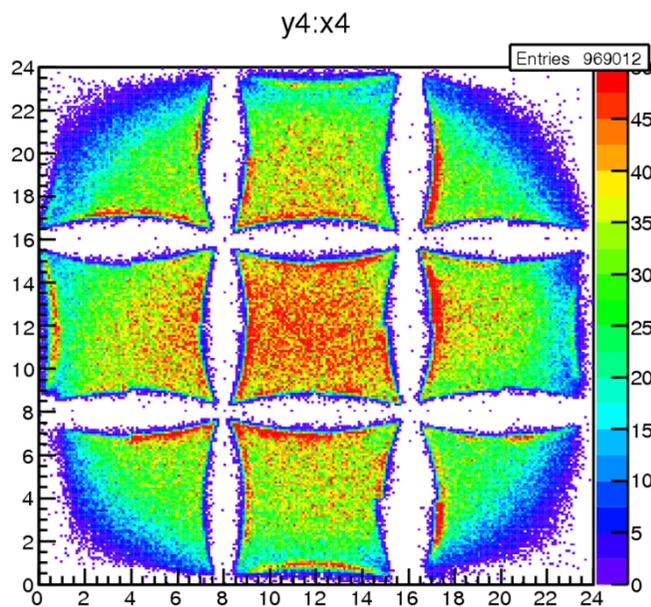
$$x_3 = l \frac{Q_5 - Q_3}{Q_3 + Q_4 + Q_5} \quad y_3 = l \frac{Q_1 - Q_7}{Q_1 + Q_4 + Q_7}$$



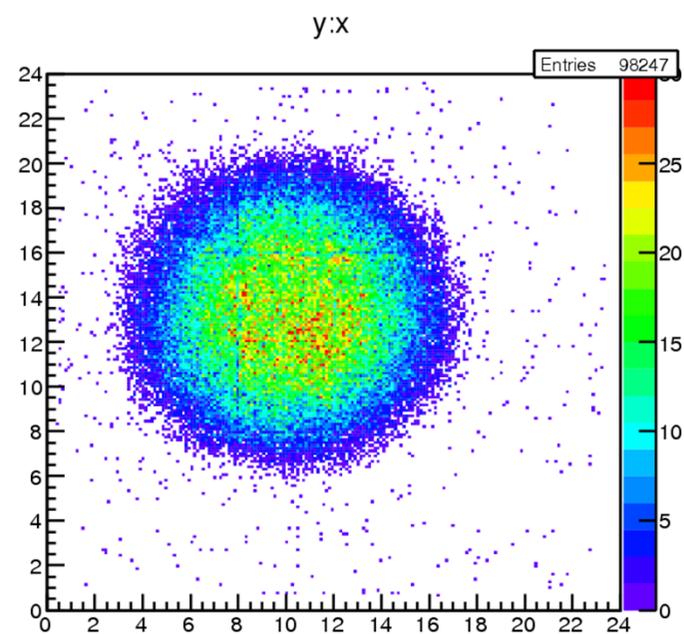
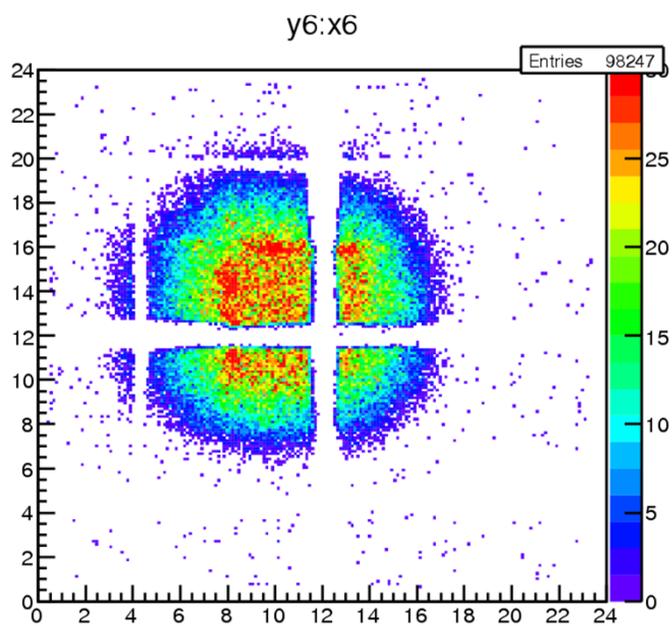
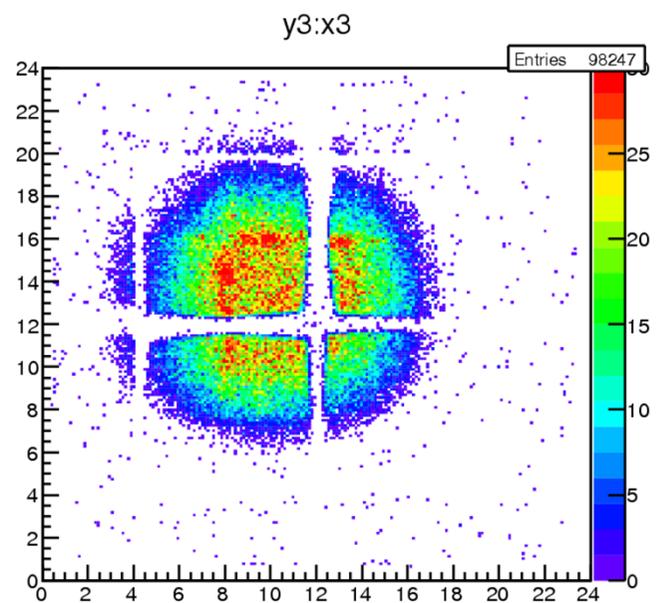
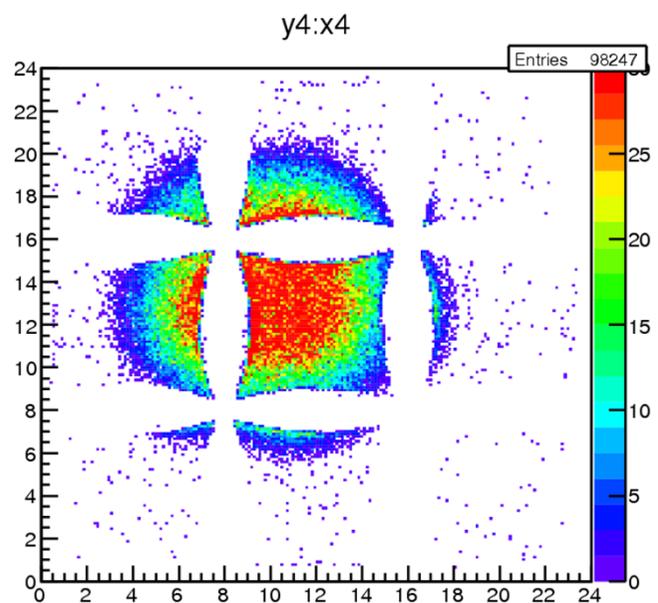
将三种不同的方法按一定权重加以平均, 可以降低因为电荷扩散而引起的畸变

$$x = a_x x_4 + (1 - a_x) [b_x x_6 + (1 - b_x) x_3]$$

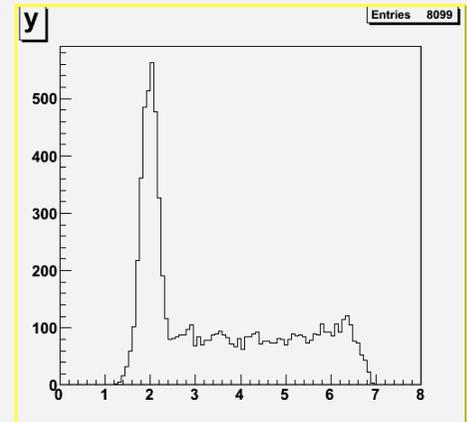
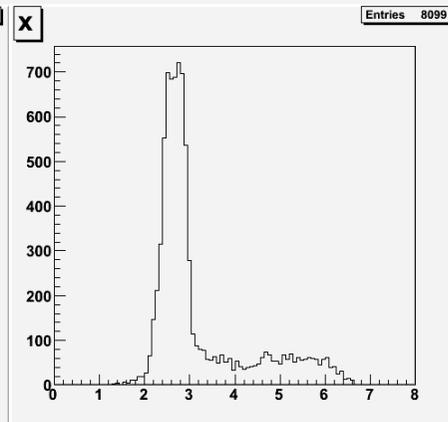
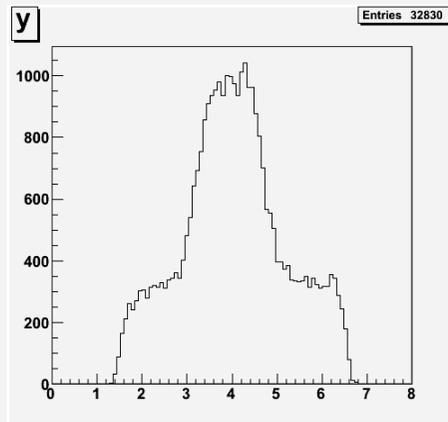
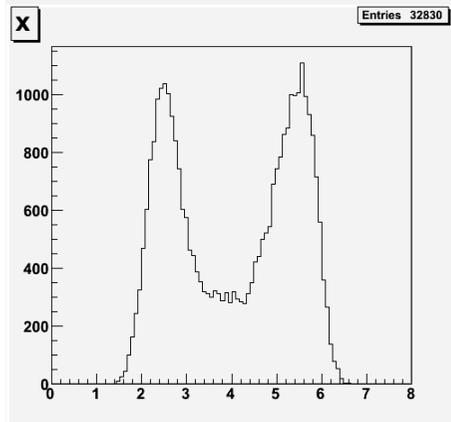
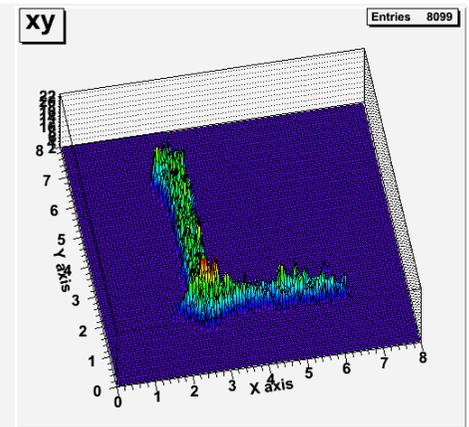
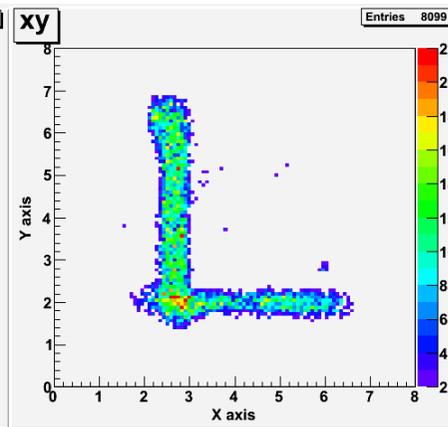
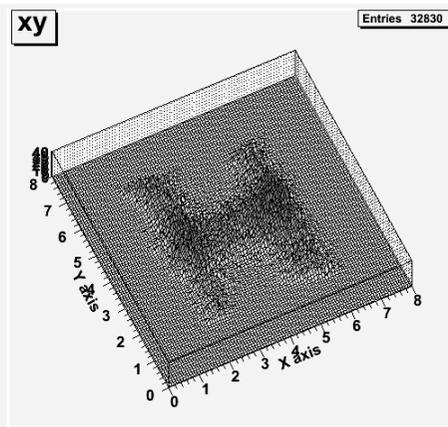
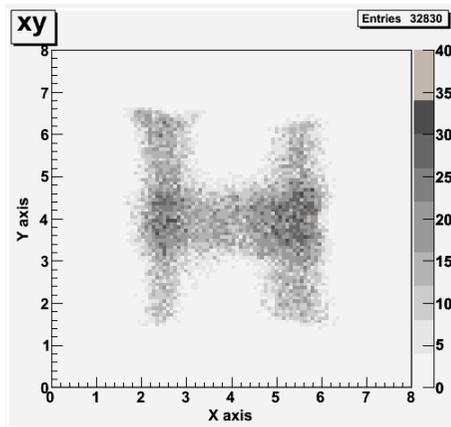
# 平场测试



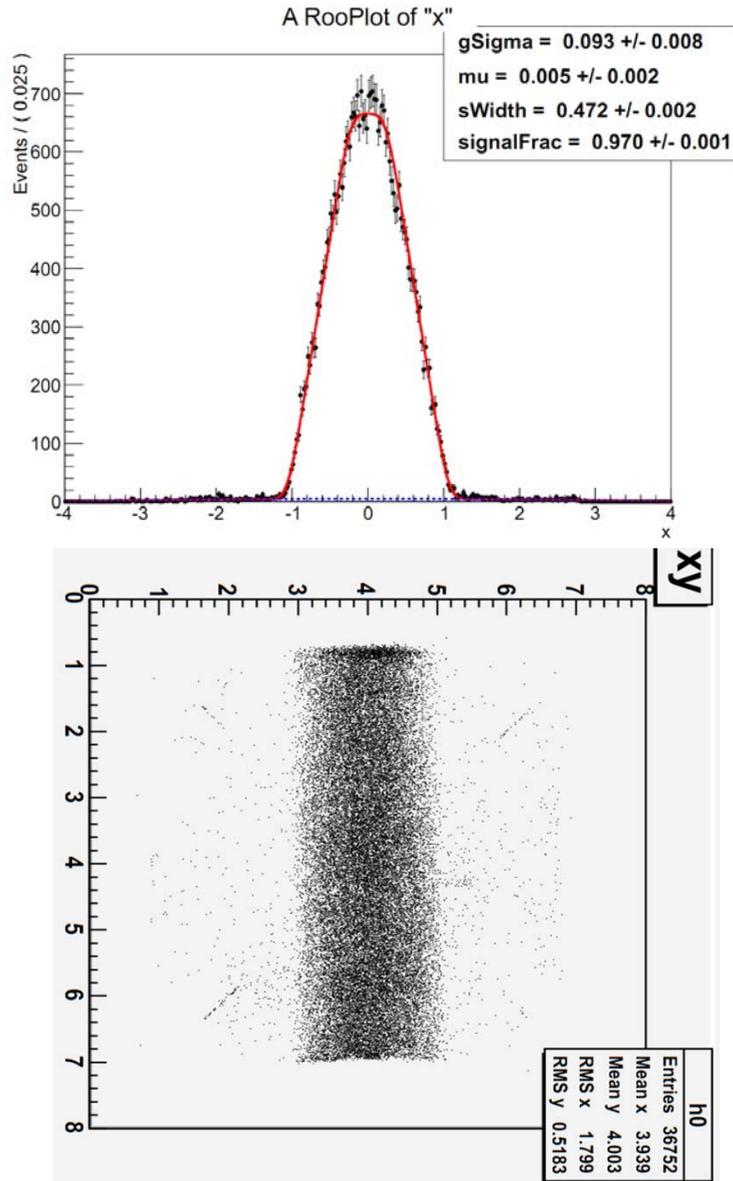
# 圆孔成像



# 阻性Pad精细成像



# 探测器位置分辨



实验分辨函数:

$$r(x, x') = \frac{1}{\sqrt{2\pi} R} e^{-\frac{(x'-x)^2}{2R^2}}$$

实验函数:

$$g(x') = \int_{\Omega_x} r(x, x') f(x) dx,$$

$$\text{其中: } f(x) = \alpha \cdot \begin{cases} h - \frac{d}{l} \left( x - \mu_0 - \frac{h}{2} \right), & x \in \left[ \frac{h}{2} + \mu_0, \left( \frac{h}{2} + h \frac{l}{d} \right) + \mu_0 \right] \\ h, & x \in \left( -\frac{h}{2} + \mu_0, \frac{h}{2} + \mu_0 \right) \\ h + \frac{d}{l} \left( x - \mu_0 + \frac{h}{2} \right), & x \in \left[ -\left( \frac{h}{2} + h \frac{l}{d} \right) + \mu_0, -\frac{h}{2} + \mu_0 \right] \end{cases}$$

利用卷积拟合的方法, 测得位置分辨为219um

# 总结

- 研制了阻性插值读出结构的**GEM**探测器模型，对其性能进行了测试，并进行了二维位置重建算法研究
- 探测器模型具有较好的位置分辨（**219 $\mu\text{m}$** ）、能量分辨（**17%**）和成像性能，同时探测器的电荷收集速度也比较快，能够适应约**10<sup>6</sup>Hz**的计数率环境
- 由于阻性读出**pad**面积较大，与读出条或像素读出方法相比，实现同样的位置分辨能够节约大量的电子学，从而节约制造成本

谢谢