

探测器前端专用集成电路 GEMPROC的性能研究

报告人：王庆娟



中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences

核探测与核电子学国家重点实验室

主要内容

- 引言
- **GEMPROC**芯片简介
- 测试环境
- 测试结果
- 小结
- 参考文献



主要内容

- 引言
- **GEMPROC**芯片简介
- 测试环境
- 测试结果
- 小结
- 参考文献



引言

- 为了满足二维位置灵敏探测器高空间分辨率的需求，其读出条的尺寸将越来越小，导致单位面积内探测通道数迅速增加，这对读出电子学系统提出了更高的要求；
- 采用传统的分立器件搭建构成的电子学系统无法满足该位置灵敏探测器电子学系统对规模、功耗及成本的要求，因此必须研制和使用专用集成电路；
- **GEMPROC**是高能所自主设计的一款**GEM**探测器读出芯片，该芯片将**16**个信号通道的峰值信息串行输出，每**16**个通道只要一路**ADC**，可以简化电路，降低系统成本。

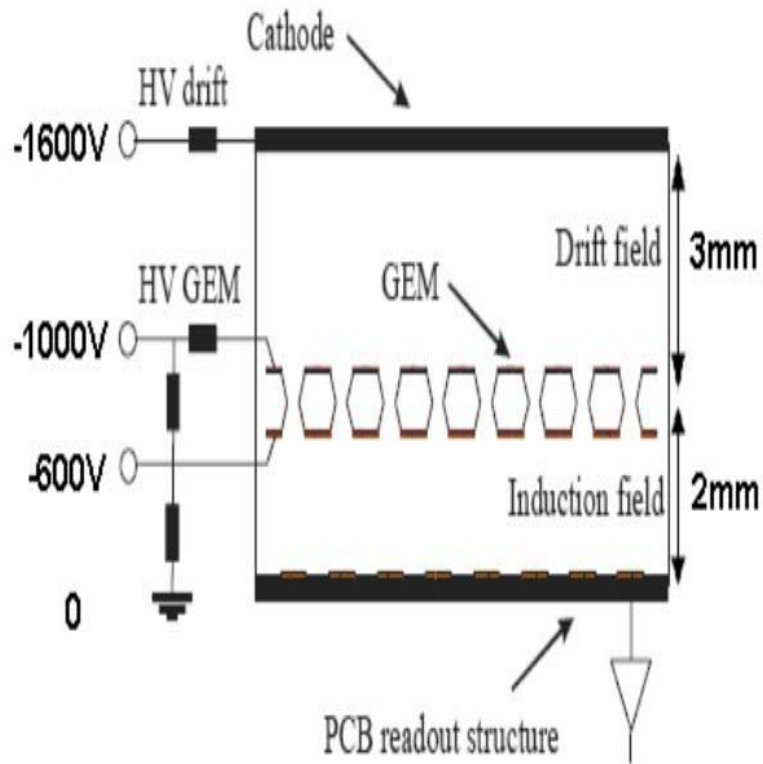


GEM探测器

典型的GEM（Gas Electron Multiplier）探测器由漂移电极，一片或多片GEM复合薄膜网格和印刷电路板读出电极组成；

GEM膜两面覆铜并蚀刻出大量微孔，在两侧铜面加高压，电子在孔内发生雪崩，对原初电离放大，放大后的电子继续漂移经过过渡区达到下面的电极进行收集；

单级GEM的增益达到50左右

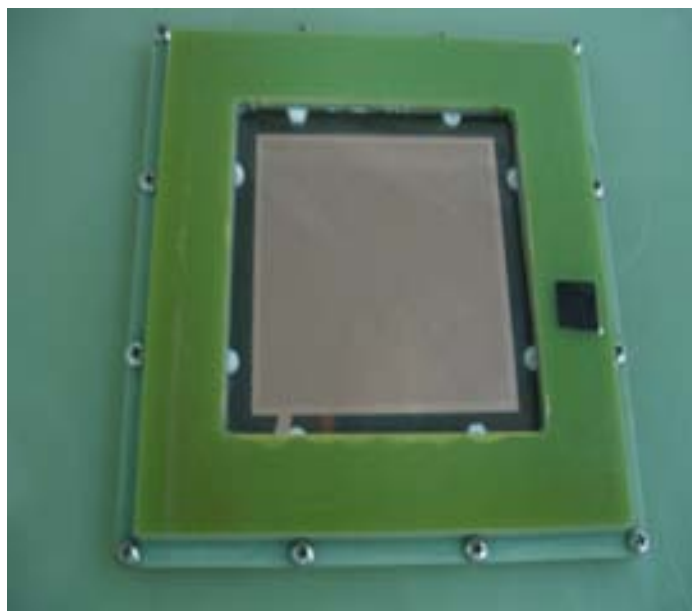


单级GEM探测器的结构示意图

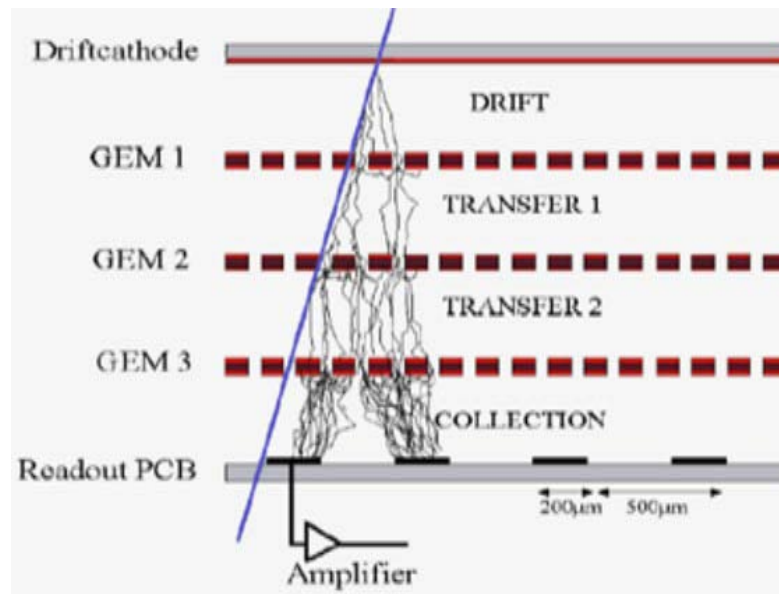


三级GEM探测器

- 在漂移电极与读出电极之间加入多层GEM膜构成多级GEM探测器



GEM探测器外观图



三级GEM探测器的结构图

灵敏面积 $200*200\text{mm}^2$
读出条读出: 704路
PAD读出: 上万路

ASIC



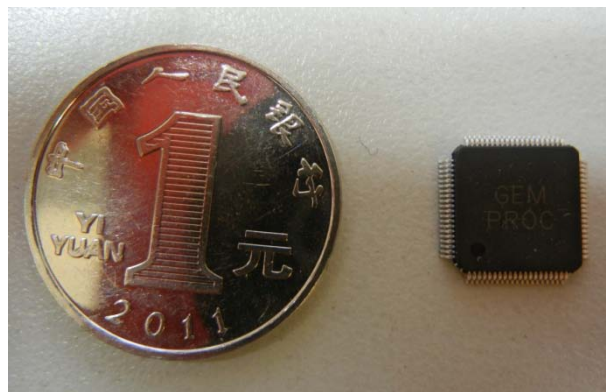
主要内容

- 引言
- **GEMPROC**芯片简介
- 测试环境
- 测试结果
- 小结
- 参考文献

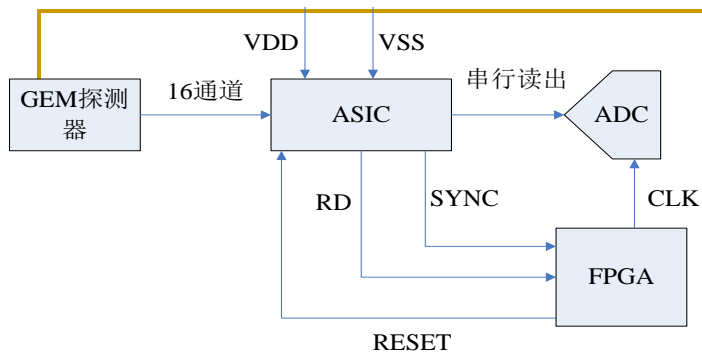


GEMPROC芯片

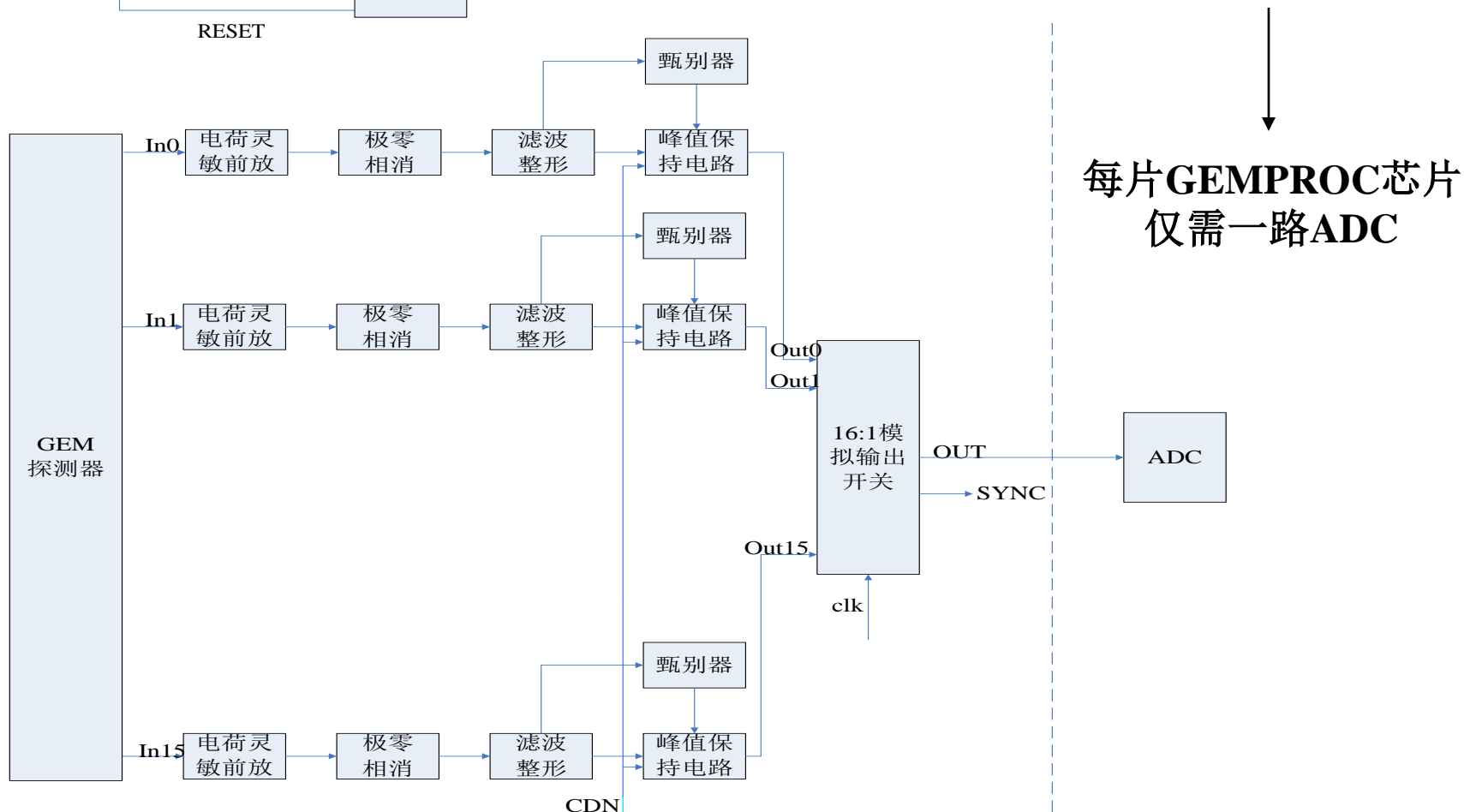
- GEMPROC芯片是高能所自主设计的面向3层GEM探测器的一款专用集成电路，采用Chartered 0.35um COMS 工艺，LQFP封装。
- GEMPROC提供两模式：
 - 一是**工作模式**，探测器的输出信号为负极性的三角形脉冲，经过芯片内的电荷灵敏前放、极零相消、滤波整形电路后变为准高斯波形，再送入甄别器与阈值电压进行比较，当滤波整形后的波形超过阈值时，甄别器将输出一个标识信号，判断该信号为有效信号，继续送入峰值保持电路，对该信号的峰值进行采样和保持，最后各通道有效的信号的峰值信息将通过**16:1**模拟开关串行读出。
 - 二是**刻度模式**，主要用于测试芯片各通道是否能正常工作以及各通道工作点的一致性。因芯片内部已经在刻度输入端加入了一个**1pF**的刻度电容，只需要外部提供一个方波信号，就可以实现对所选通道的刻度。



GEMPROC芯片总体结构



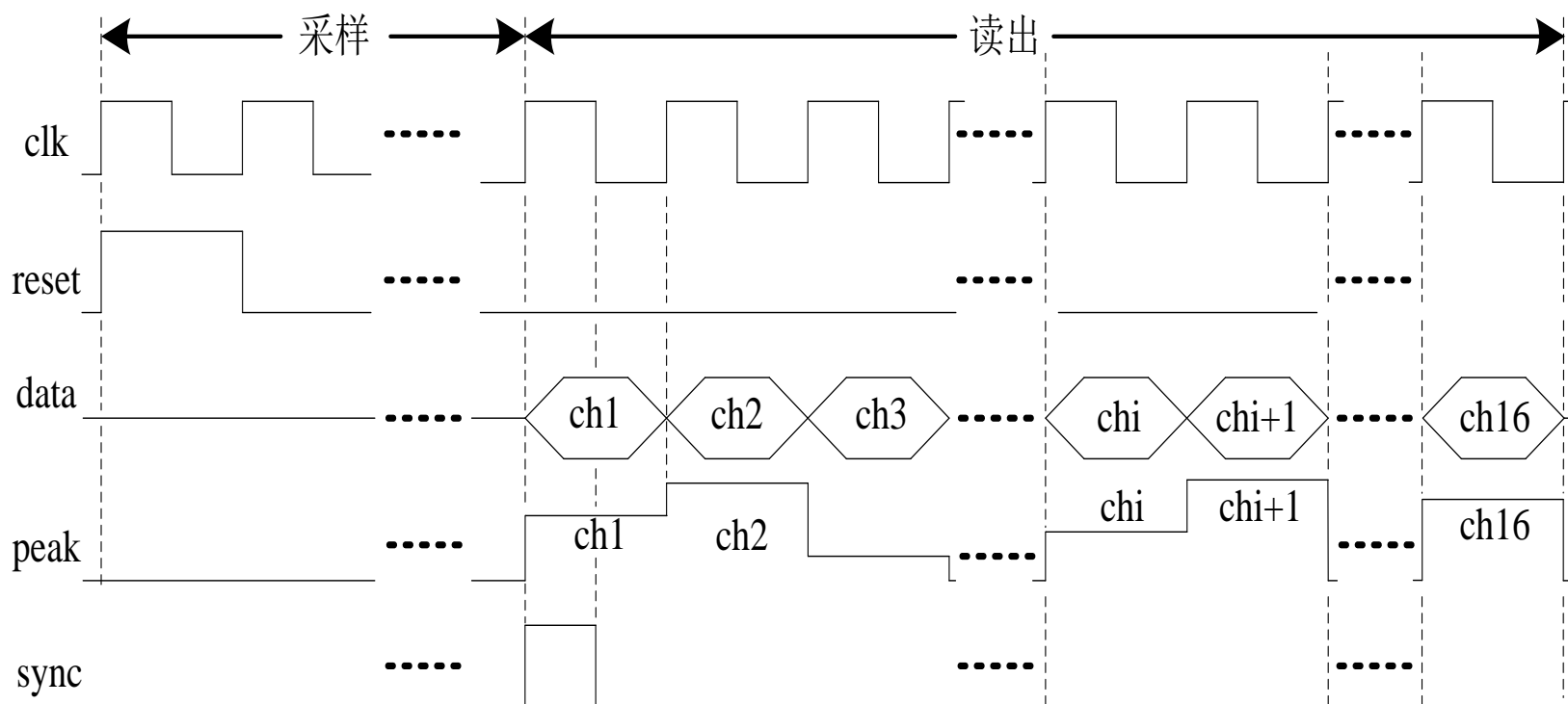
- 前放+整形+峰值保持+读出
- 16通道峰值信息串行读出★



每片GEMPROC芯片
仅需一路ADC



GEMPROC工作时序



- 工作过程分为采样过程和读出过程；
- 工作周期为1us，其中采样过程600ns和读出过程400ns；
- 同步信号sync。



主要内容

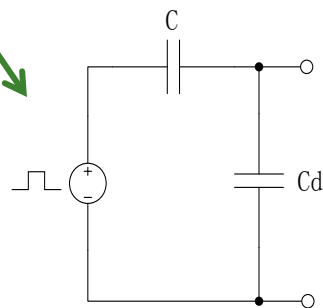
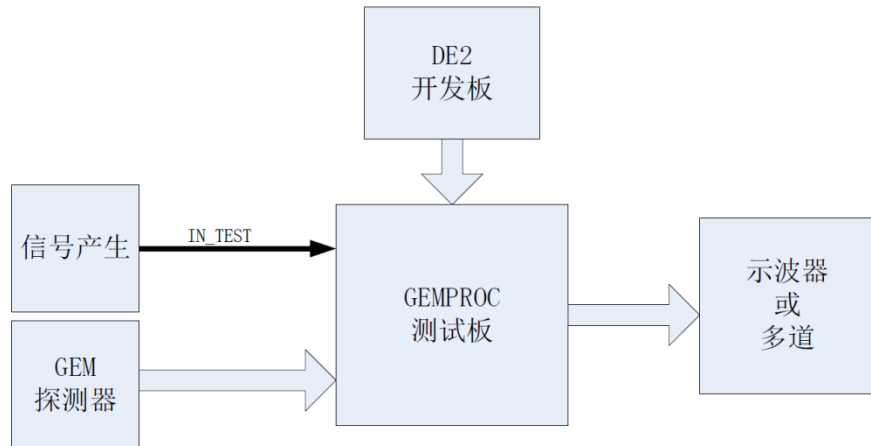
- 引言
- **GEMPROC**芯片简介
- **测试环境**
- 测试结果
- 小结
- 参考文献



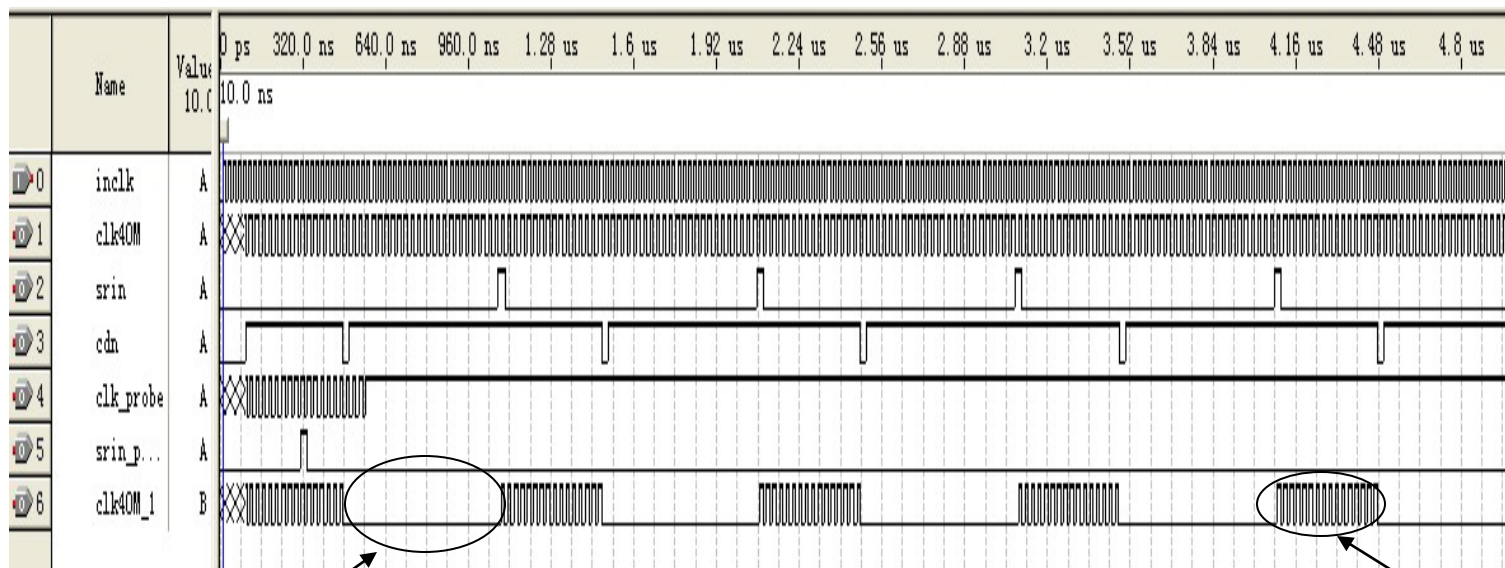
GEMPROC芯片测试环境

测试板

- **Mentor Graphics2005**
- 大小为 $113 \times 201\text{mm}^2$ ，为4层板
- 脉冲发生器（Agilent33250A）
- LeCroy 104MXi数字示波器
- Alter DE2开发板（基于ALTERA CycloneII EP2C35F672C6）
- 多道：ORTEC TRUMP-PCI-8K Multichannel Buffer Card (满量程为10V，采样精度为13bit)



利用DE2产生的数字信号



采样阶段

读出阶段

“采样”过程：CLK=0

“读出”过程：CLK=40MHz

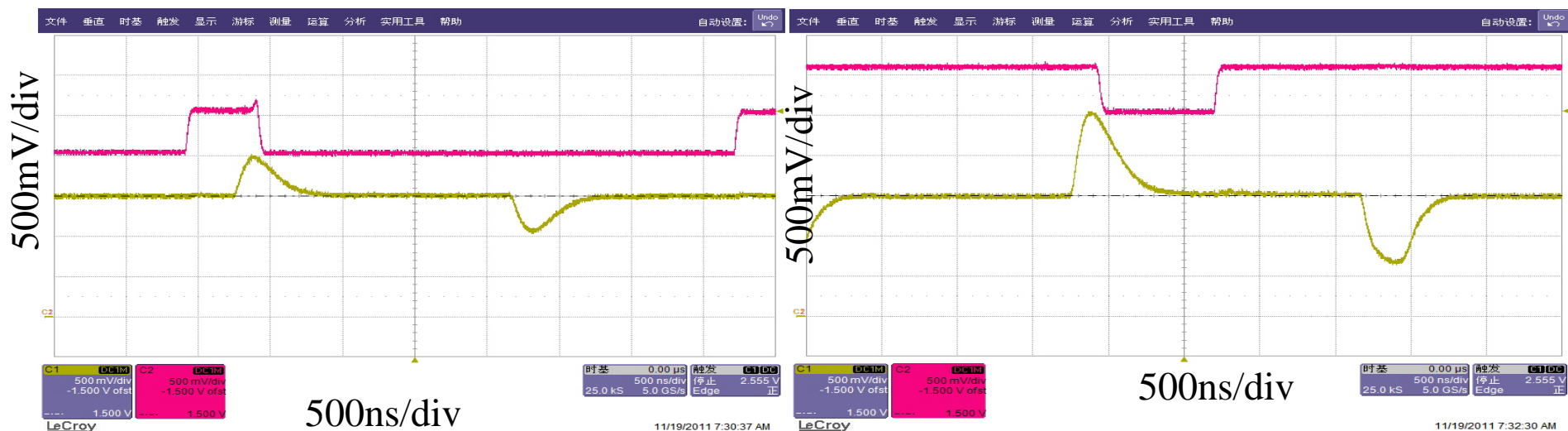


主要内容

- 引言
- **GEMPROC**芯片简介
- 测试环境
- **测试结果**
- 小结
- 参考文献



功能测试 1—整形后波形和峰值保持波形



输入电荷量为80fC时测试结果

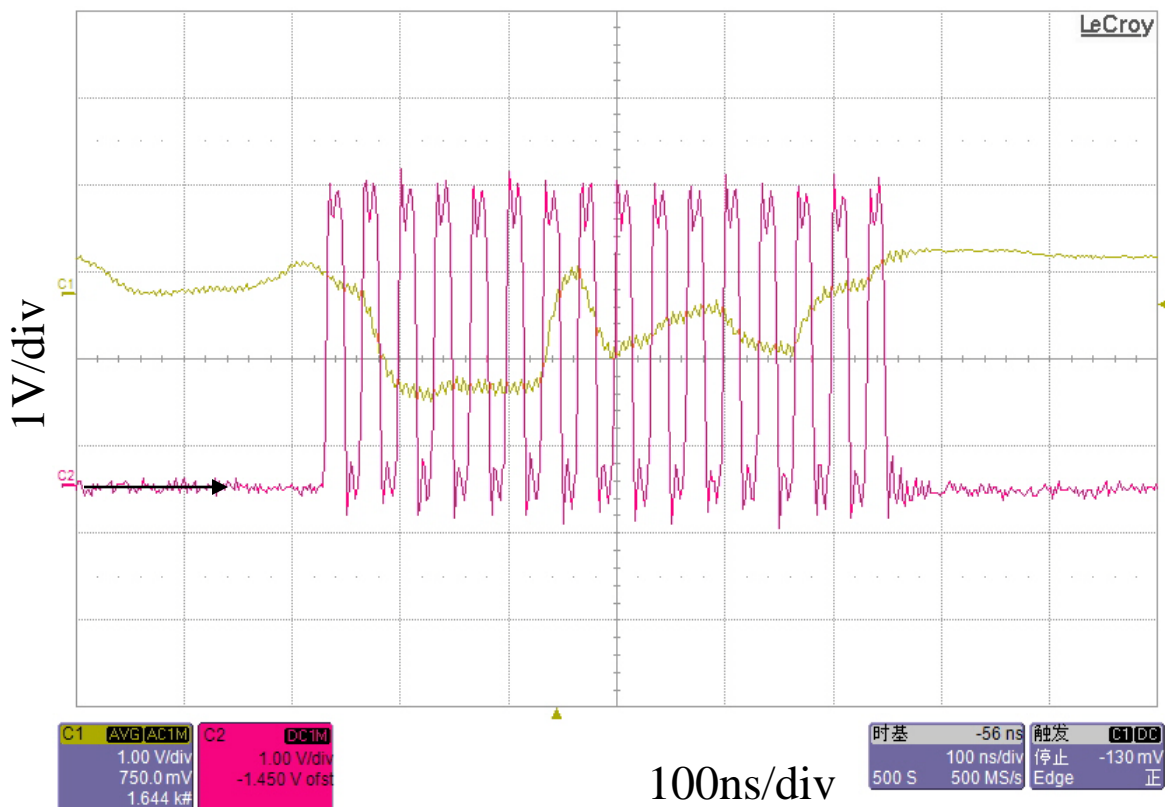
输入电荷量为150fC时测试结果

- 信号底宽约为850ns，同时峰值保持电路可以保持住整形后信号的峰值



功能测试 2—串行输出波形(40MHz)

- 该开关读出信号上升时间较慢，输出信号建立时间太长，输出稳定值的时间在整个读出周期中占用的比重很小，可能导致后续ADC不能精确采样到有效幅度值。

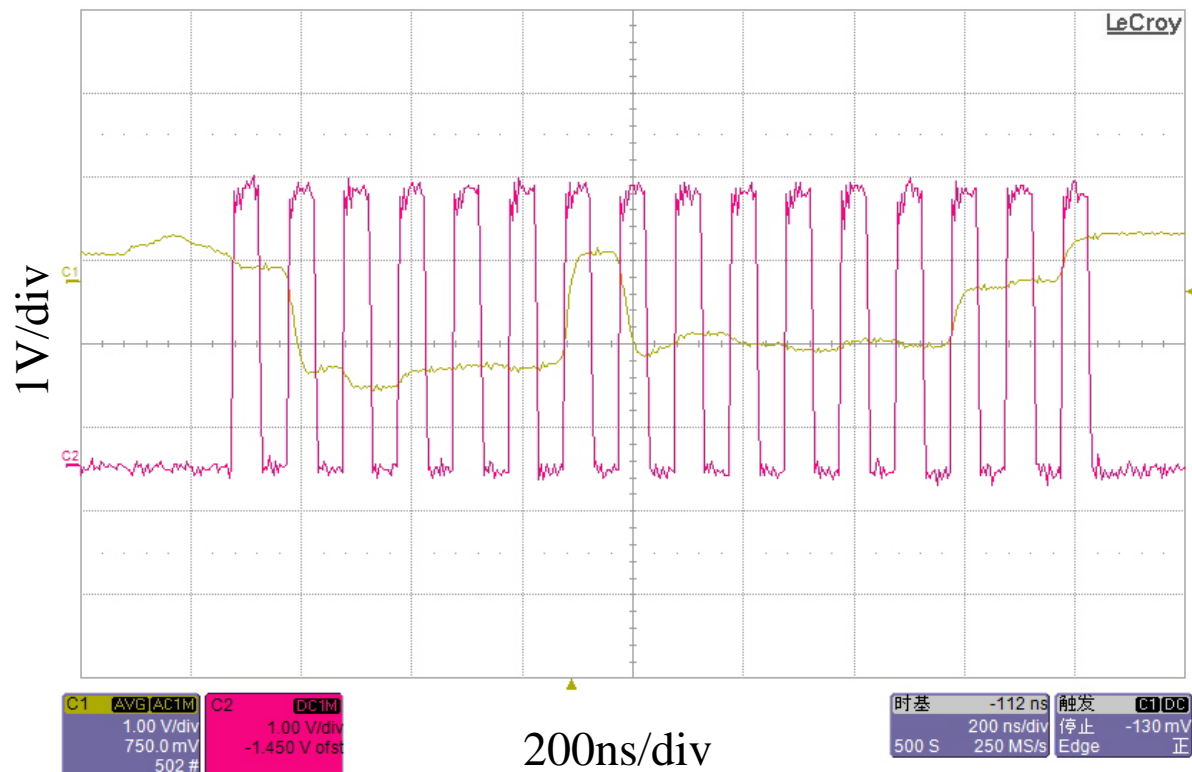


时钟设置成40MHz时的测试结果



功能测试 2—串行输出波形(10MHz)

在10M时钟频率下，模拟开关能够将16路峰值信息进行串行读出，每一通道峰值信息都能在该通道读出周期的大部分时间内稳定。

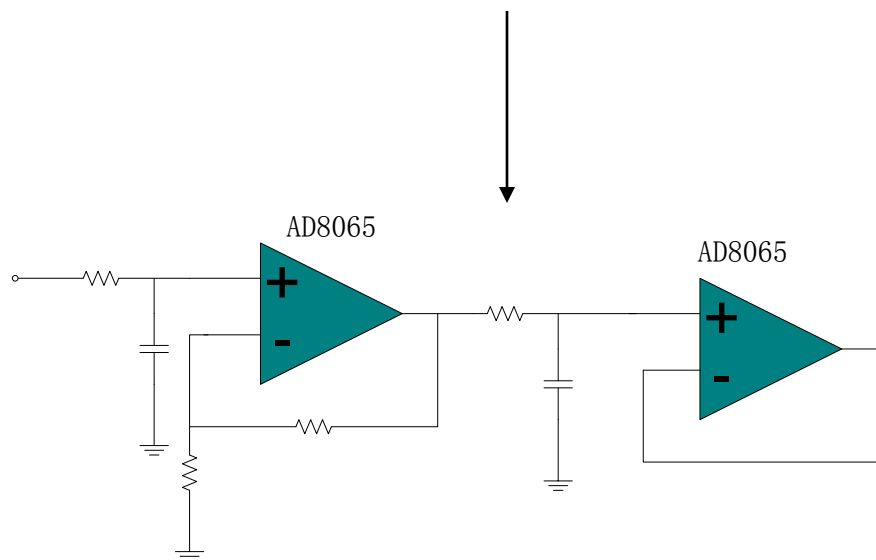
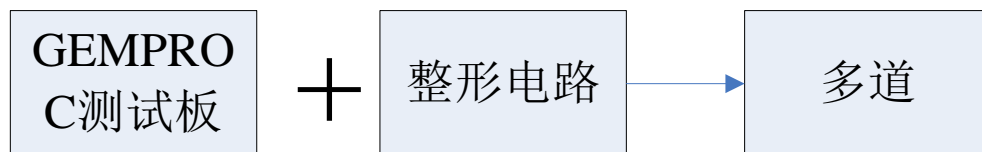


时钟设置成10MHz时的测试结果

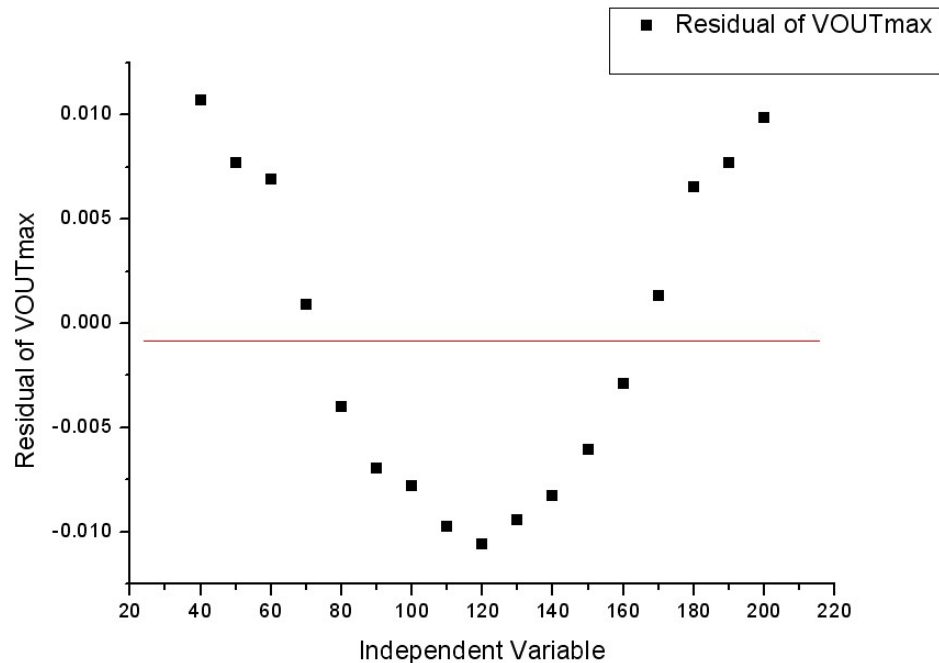
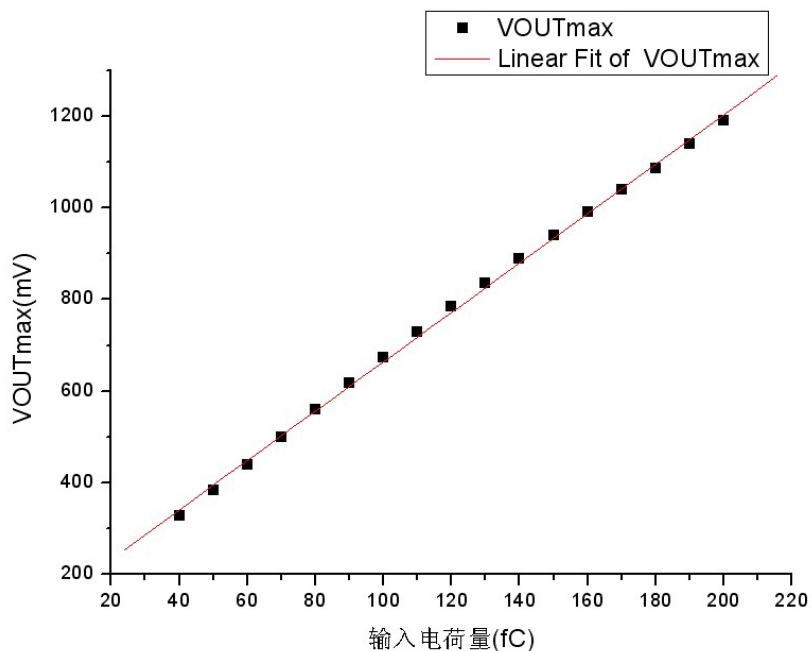


积分非线性测试

- 多道量程10V，13bit，8192道，1.2207mV /道
- 输入准高斯波形：时间常数为0.25~30us



积分非线性测试



■ **INL < 1.068% @ 40~200 fC**



噪声测试

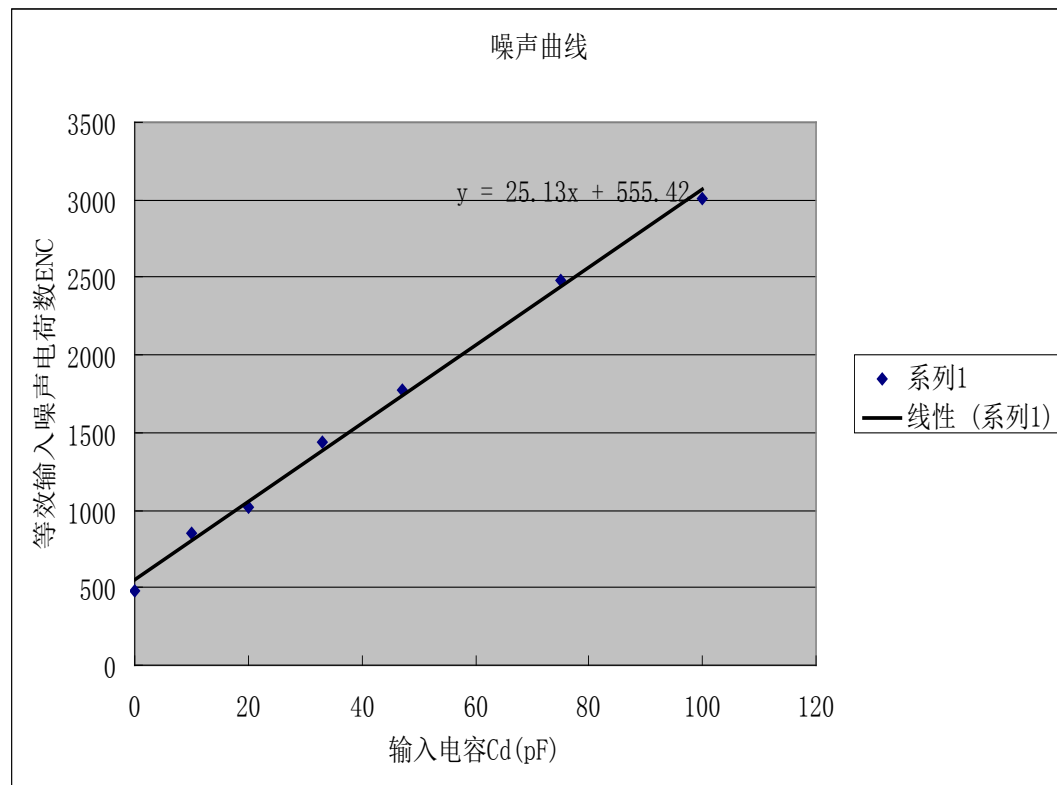
■ 高斯信号的半高宽FWHM与标准偏差的关系为

$$FWHM = 2.355\sigma_N$$

■ GEMRPOC芯片自身引入的半高宽则为

$$\sqrt{FWHM_{GEMPROC}^2} = \sqrt{FWHM_{TOT}^2 - FWHM_{IN}^2}$$

■ 电容噪声斜率约为
25.13e/pF



测试板到多道之间的
连接线引入的噪声!



功耗测试值

- 利用万用表（测量精度为0.001A）测量由3.3V电压产生的电流约为0.1A，此时测试板上仅GEMPROC芯片由3.3V电压供电，因此可以得到GEMPROC芯片的总功耗约为330mW，故可以得到一个通道的功耗约为**20.625mW**。



主要内容

- 引言
- **GEMPROC**芯片简介
- 测试环境
- 测试结果
- **小结**
- 参考文献



小结

	功耗 (mw/ ch)	积分非线性		噪声	增益 (mV/ fC)
		整形后信号	峰值保持后信号		
仿真值	20.46	0.3% @40fc~200fc 0.8% @10fc~200fc	0.4% @40fc~200fc 0.8% @40fc~200fc	19e/pF 2100e@Cd=100pF	6.08
测试值	20.62	<1% @40fc~200fc		25e/pF 3003e@Cd= 100pF	5.96

GEMPROC芯片测试值与仿真值的对比



主要内容

- 引言
- **GEMPROC芯片简介**
- 测试环境
- 测试结果
- 小结
- **参考文献**



参考文献

- [1] 吕继方, 刘振安, 王铮等. 高精度CMOS峰值保持电路设计[J]. 核电子学与探测技术, 2011, 31(9):958-960.
- [2] 吕继方, 曾云等. 四通道低噪声GEM探测器前端读出ASIC设计[J]. 核电子学与探测技术, 2009, 29(2): 258-262.
- [3] 王经瑾, 范天民, 钱永庚. 核电子学[M]. 北京: 原子能出版社, 1983.



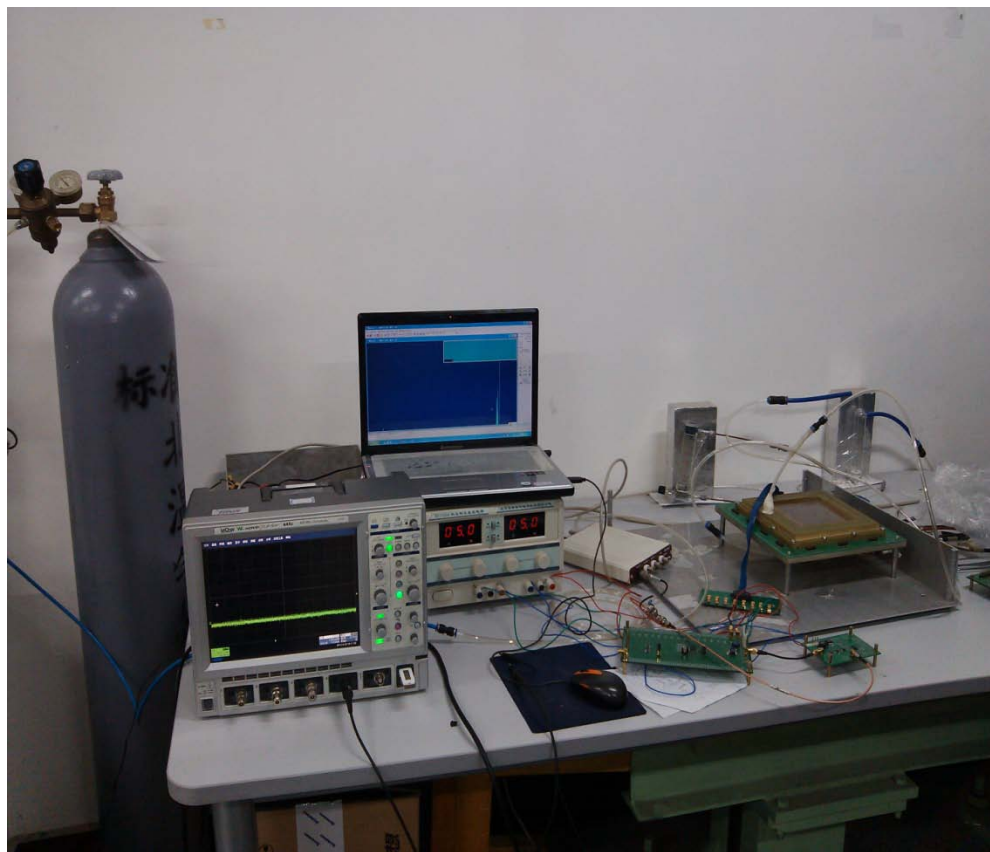
谢谢!



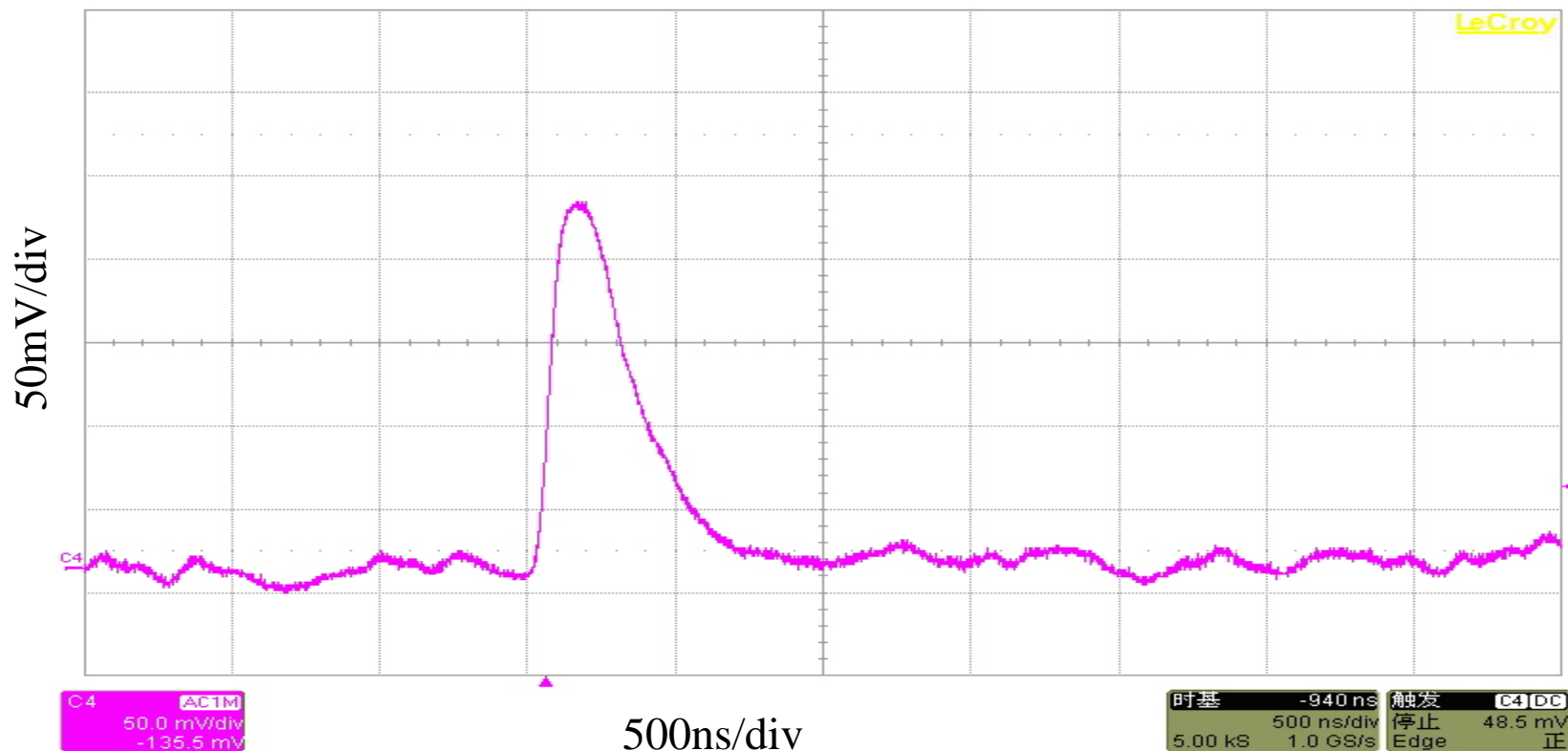
GEMPROC芯片与GEM探测器联调结果

■ GEM探测器为GEM100探测器，其具体的工作条件为：

- 有效面积：
 $100*100\text{mm}^2$
- 高压分布：
 $360\text{V}/360\text{V}/360\text{V}$
- 所用气体：
Ar: CO₂=70: 30
- 放射源： ^{55}Fe



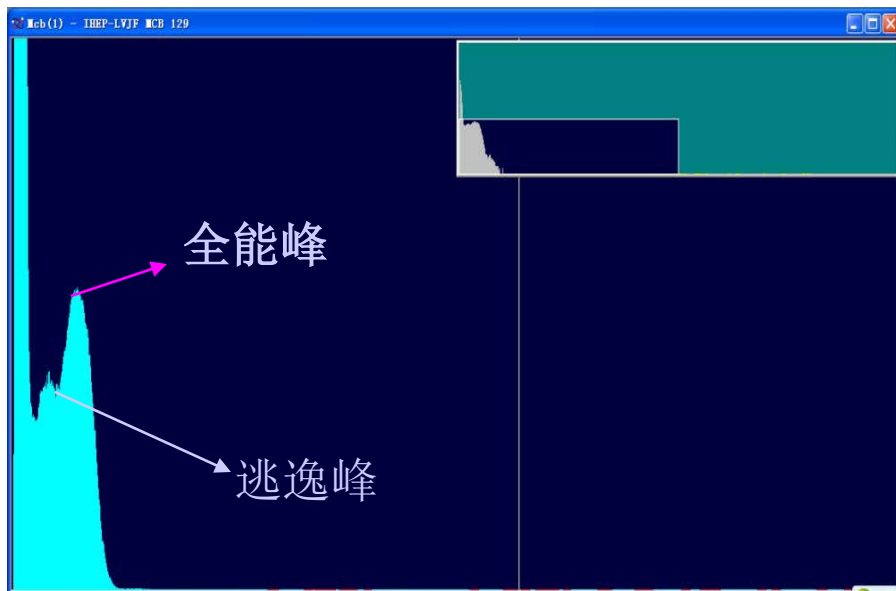
GEMPROC芯片与GEM探测器联调结果



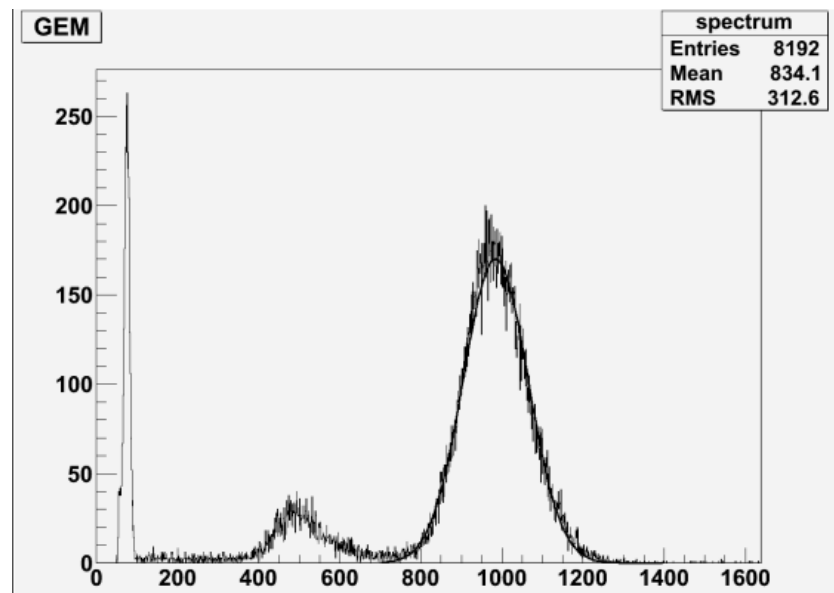
- 滤波整形后输出波形的底宽约为850ns，与仿真得到的结果基本一致，其噪声的峰峰值约为30mV



GEMPROC得到能谱



运用GEMPROC 测得的能谱



运用ORTEC PC142IH 测得的 ^{55}Fe 能谱

