

科大关于基于GEM探测器的HCAL研究进展

洪道金 王 宇

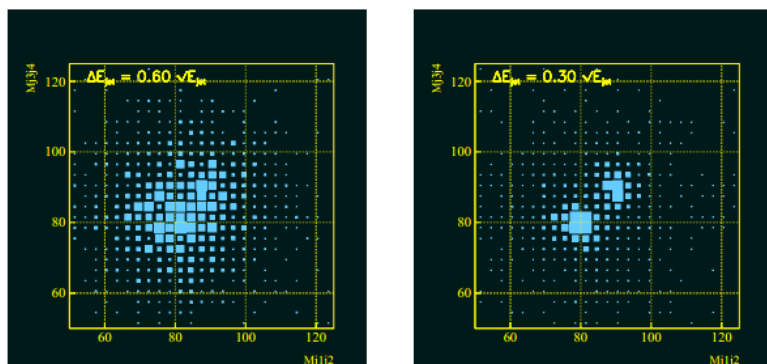
On the behalf of USTC HCAL Group

2017.7.13

提纲

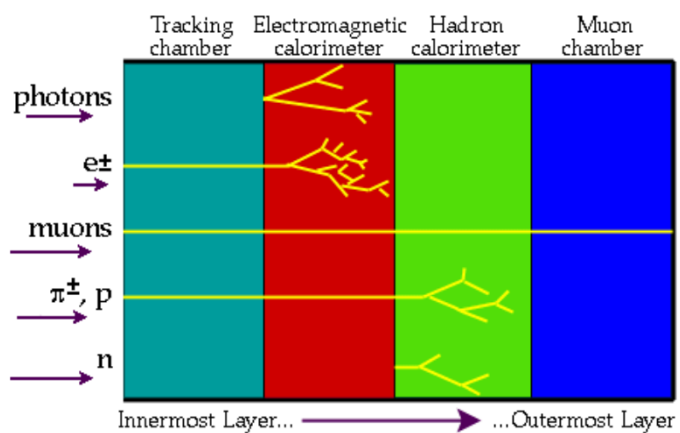
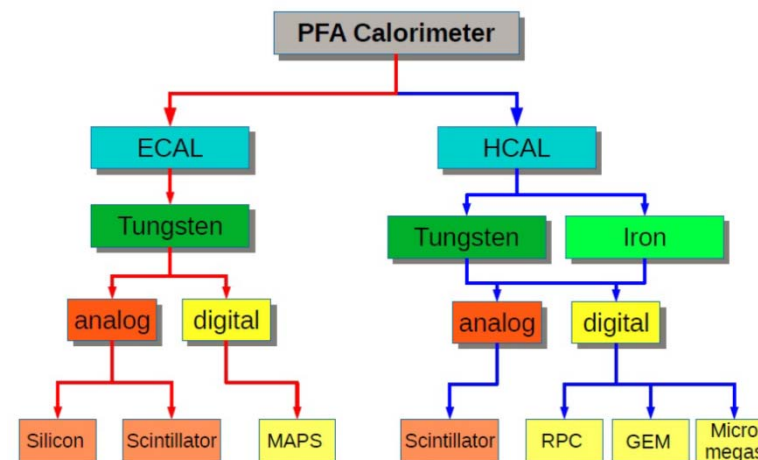
- 背景
- 探测器制作
- 电子学系统介绍
- 电子学和探测器联调
- 小结及下一步计划

背景

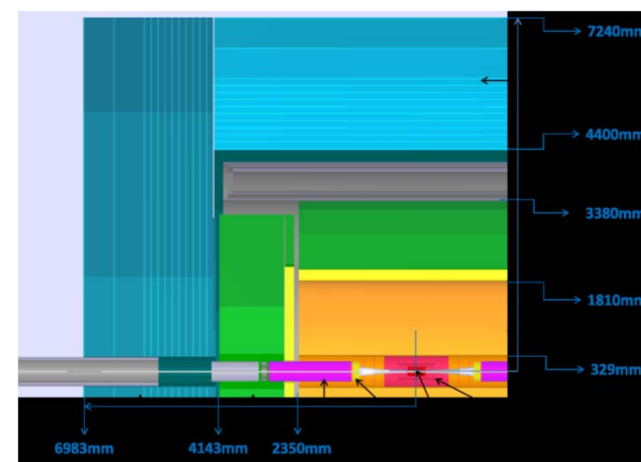


需要一个优异的能量分辨率的HCAL

量能器灵敏探测器候选者

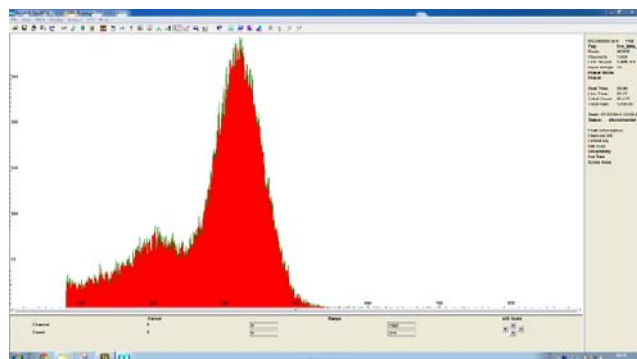
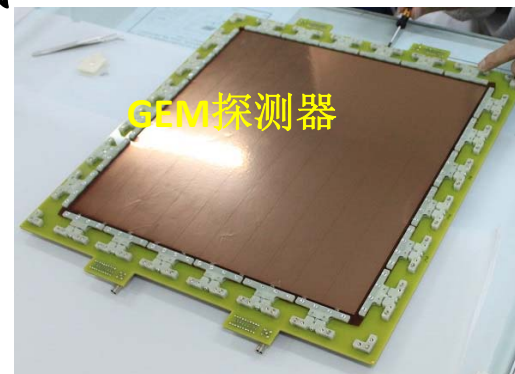
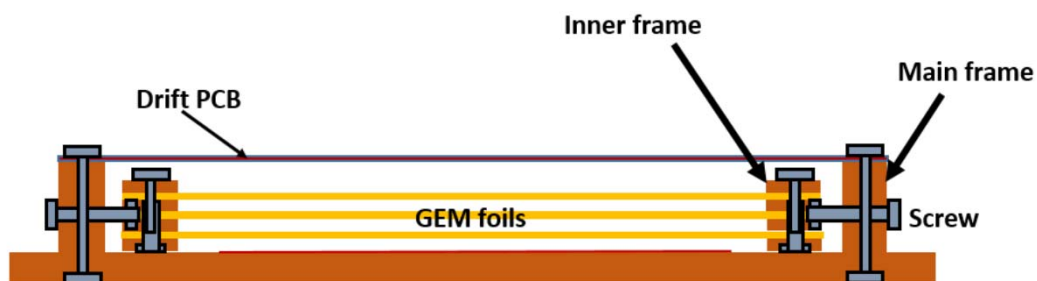


取样型量能器：三明治夹层结构
高颗粒度->Asic 读出
紧凑->薄、大面积

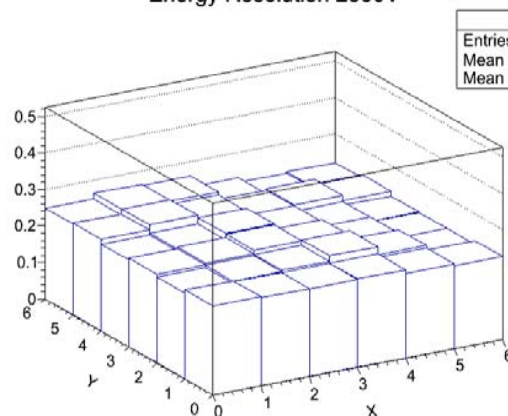


30cm×30cm GEM探测器的制作、测试

自张紧工艺示意图



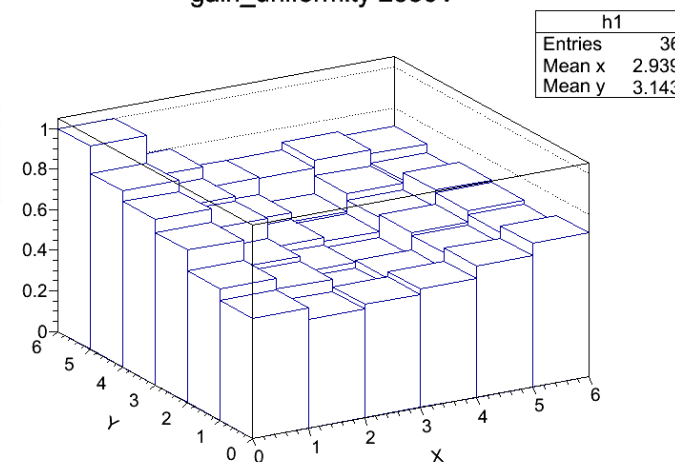
Energy Resolution 2350V



h1	
Entries	36
Mean x	2.94
Mean y	3.013

✓ 能量分辨率: 平均值~24.1%
波动~5.4%

gain_uniformity 2350V



h1	
Entries	36
Mean x	2.939
Mean y	3.143

相对增益: 平均值~0.658
波动~15.6%

电子学系统介绍-读出电子学需求

- ❑ 高颗粒度：探测单元颗粒度为 1cm^2 , 通道数约为 $4 \times 10^5/m^3$
- ❑ 功耗： $<1\text{mW/channel}$
- ❑ 动态范围：覆盖低能区 $0\sim70\text{fC}$
- ❑ 可分辨电荷量： $<4\text{fC}$
- ❑ 前端电子学厚度 $<3\text{mm}$ （减小死区）
- ❑ 数据获取（海量通道数）

前端芯片选型

国际上数字读出ASIC

数字读出芯片	通道数	动态范围	单阈/多阈	功耗
GASTONE	64	200fC	单	2.4mW/ch
VFAT2	128	18.5fC	单	1.5mW/ch
DIRAC	64	200fC for MPGD	多	1mW/ch, 10 μ W/ch(ILC)
DCAL	64	20fC~200fC	单	——
HARDROC2	64	10fC~10pC	多	1.42mW/ch, 10 μ W/ch(ILC)
MICROROC	64	1fC~500fC	多	335 μ W/ch, 10 μ W/ch (ILC)

基于多阈值读出考虑，对于GEM探测器，MICROROC动态范围合适及其功耗优势（<1mW/channel），最合适做为CEPC-HCAL原理样机的前端读出芯片。

MICROROC介绍



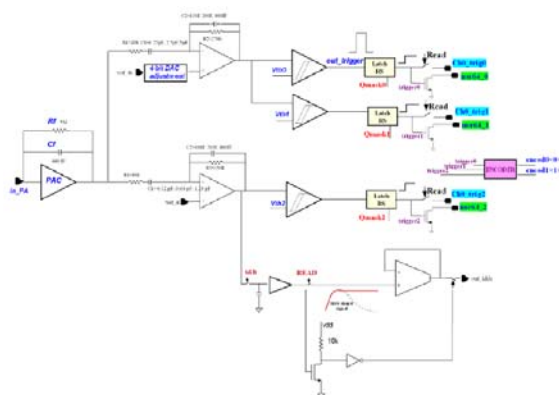
MICROROC关键参数

- 64通道
- 功耗 < 1mW/channel
- 每通道3个比较阈值
- 每通道低噪声电荷灵敏前放
- 高低增益成形

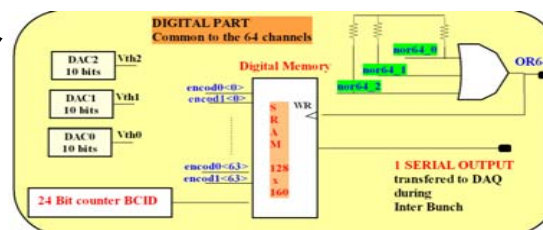
MICROROC关键功能

- 内部比较器阈值由10-bit DAC设置
- 4-bit DAC提供基线修正
- 成形时间可调

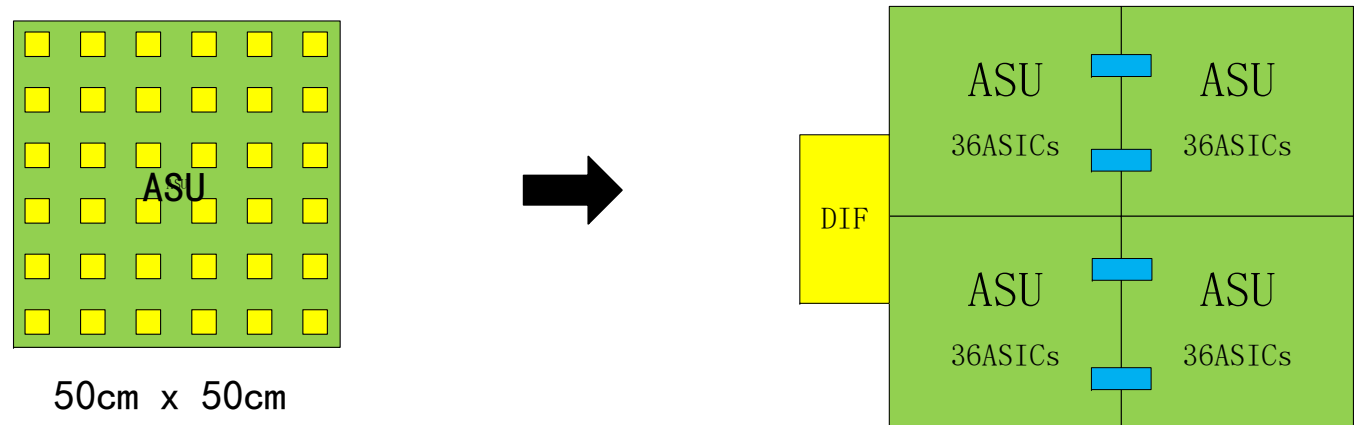
模拟部分



数字部分

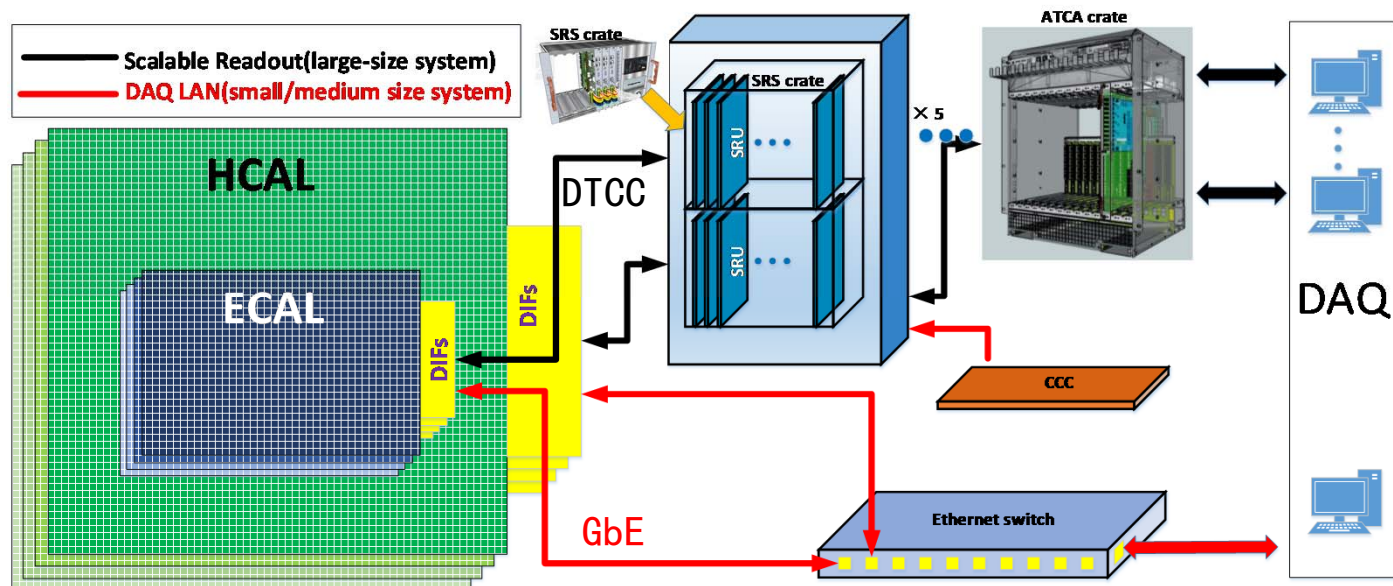


探测平面和读出电子学

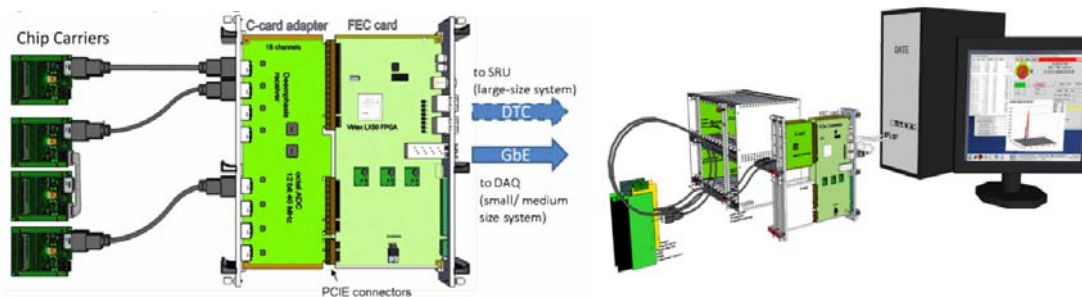


单个探测平面				
通道数	ASIC数量	前端电子学板	工艺	电子学厚度
9216	144	4	盲埋孔工艺	2.6mm
9216	144	4	器件埋入式工艺	< 2mm

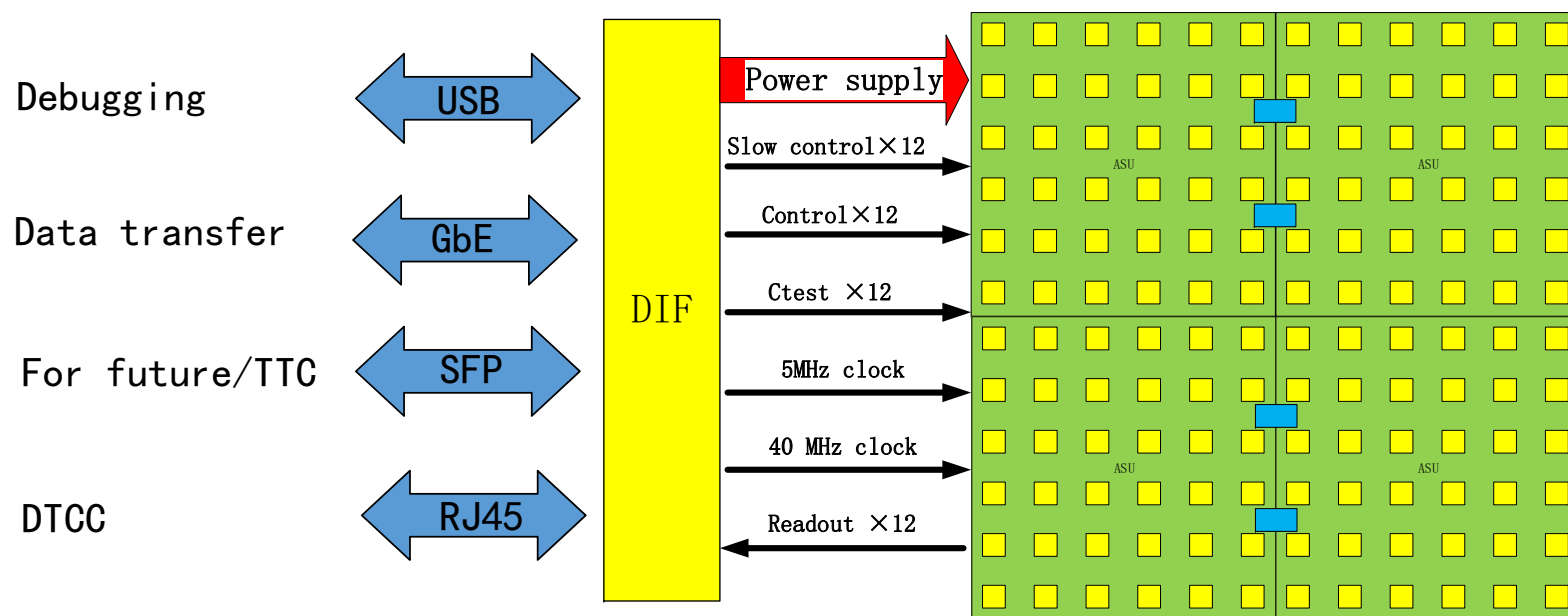
数据获取系统架构



SRS可扩展读出系统

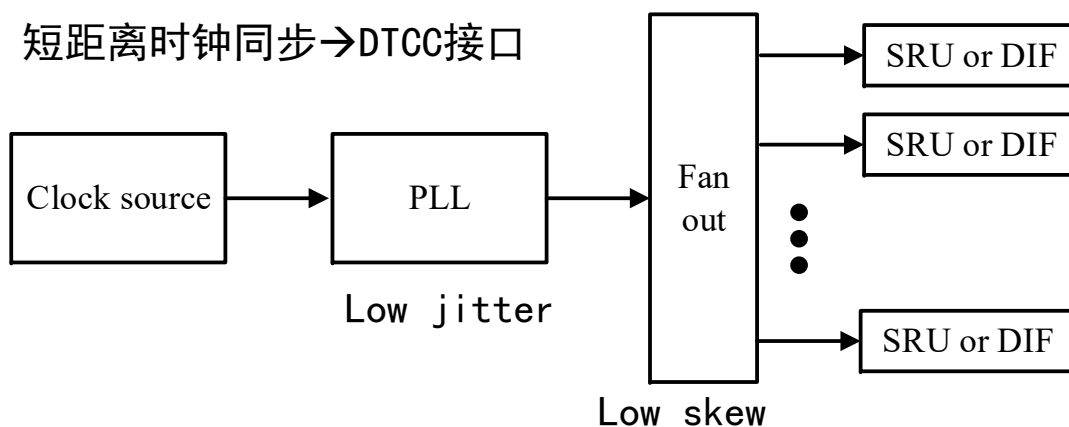


DIF板和探测器架构

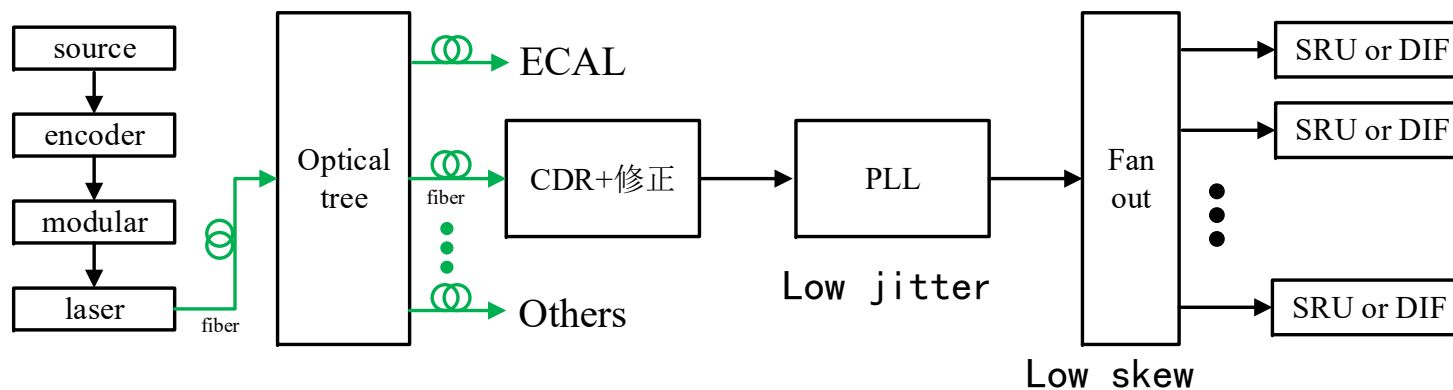


时钟同步方案

短距离时钟同步→DTCC接口

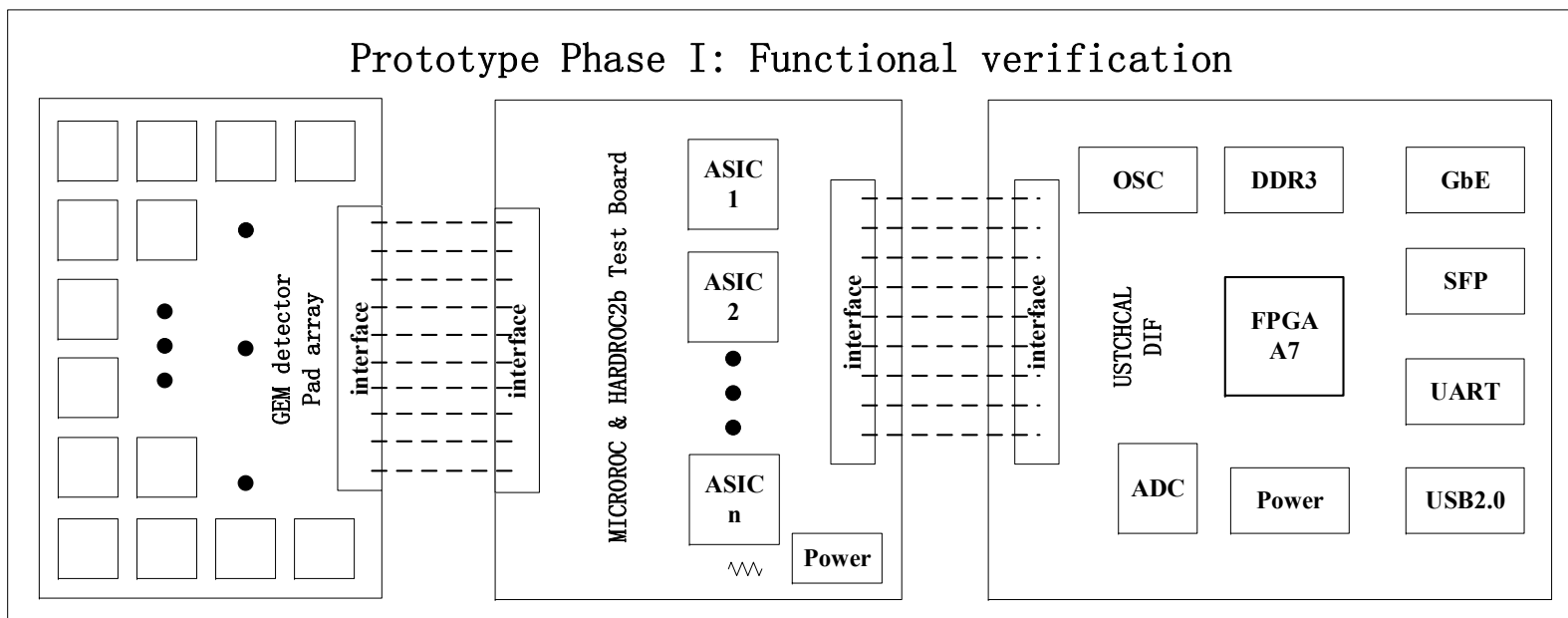


长距离时钟同步→SFP接口



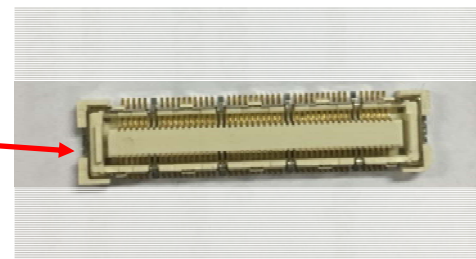
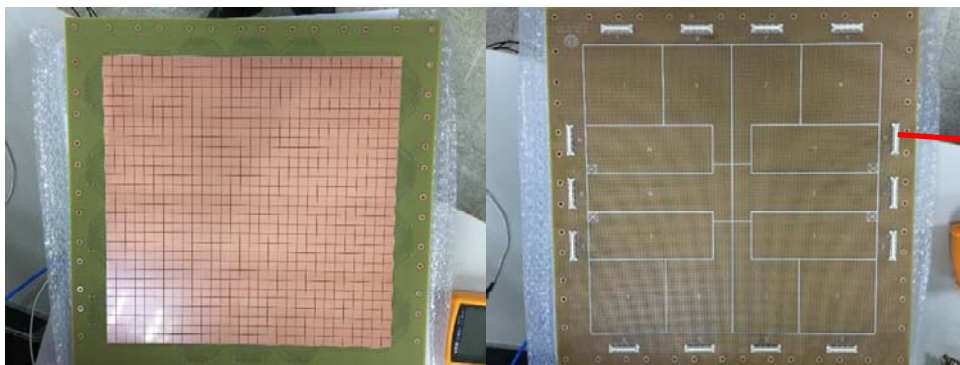
读出电子学原型设计

CEPCHCAL读出电子学原型设计的第一个阶段：原型功能验证

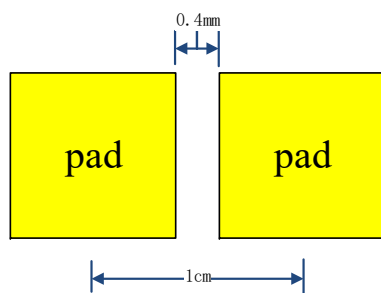


- ❑ 阳极读出板：GEM探测器的阳极读出，共900个 1cm^2 的pad
- ❑ MICROROC测试板：PCB上集成4片MICROROC，用菊花链的形式连接。
- ❑ DIF板：完成MICROROC数据采集、配置、自动化测试。

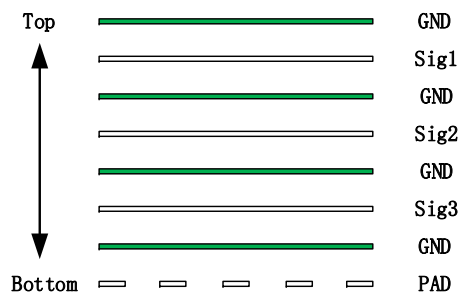
阳极读出板



Hirose Electric公司生产的
FX10B-80PS8-SV



Pad间隙为0.4mm，带电粒子从这个间隙穿过，相邻pad上也会产生感应电荷。

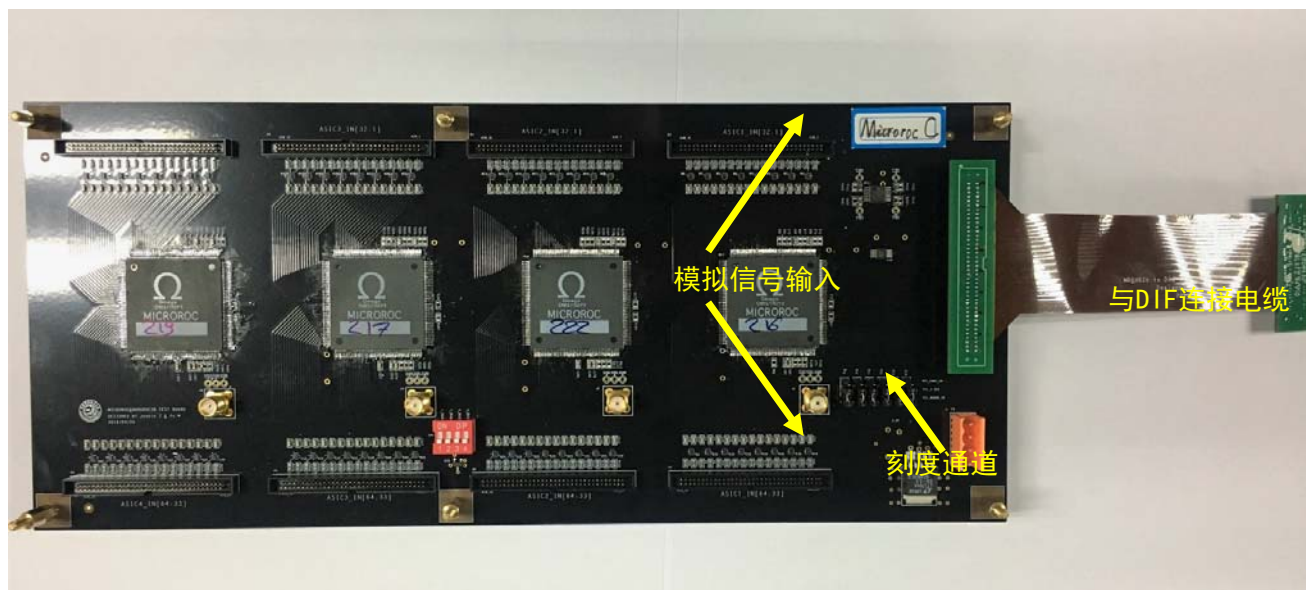


4层地平面，减小串扰

阳极读出板参数

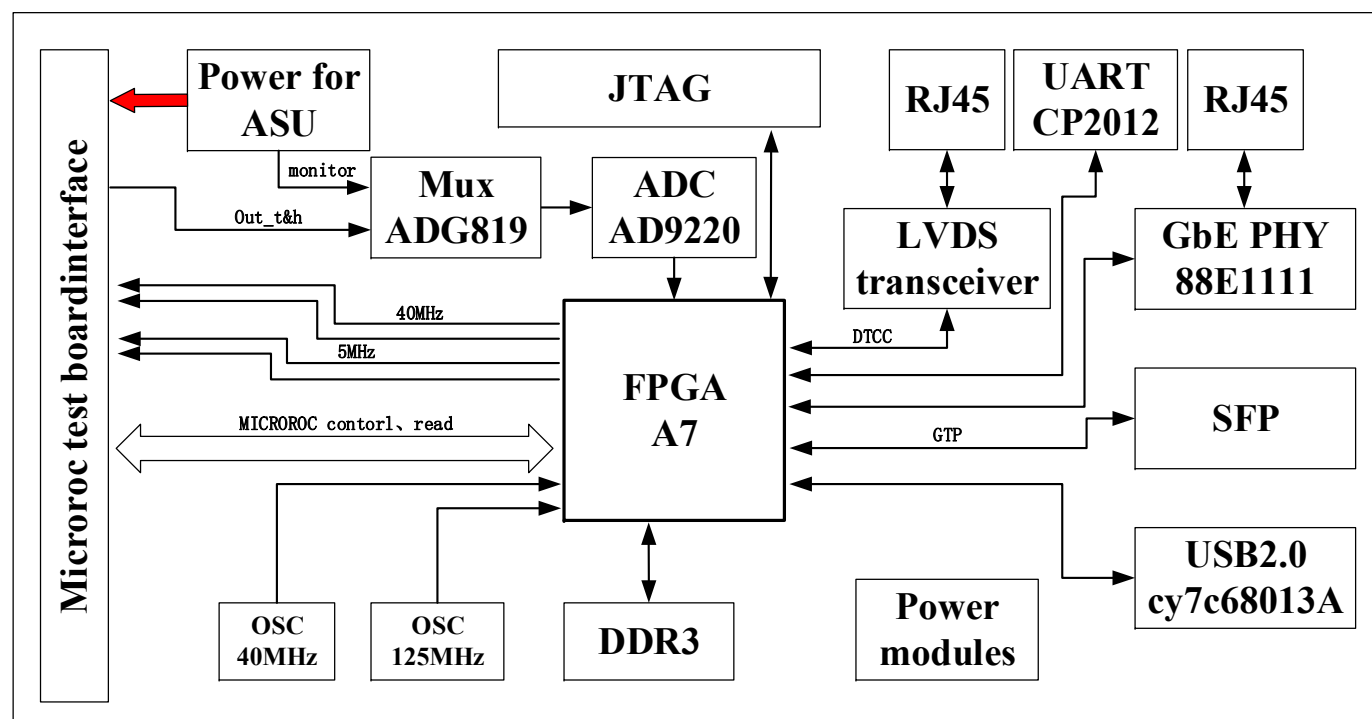
- 厚度2mm
- 尺寸37.4cm × 37.4cm
- 900个pad
- 灵敏区30cm × 30cm
- 8层通孔工艺，除了机械安装孔外其他孔均采用树脂塞孔电镀填平

原型MICROROC测试板

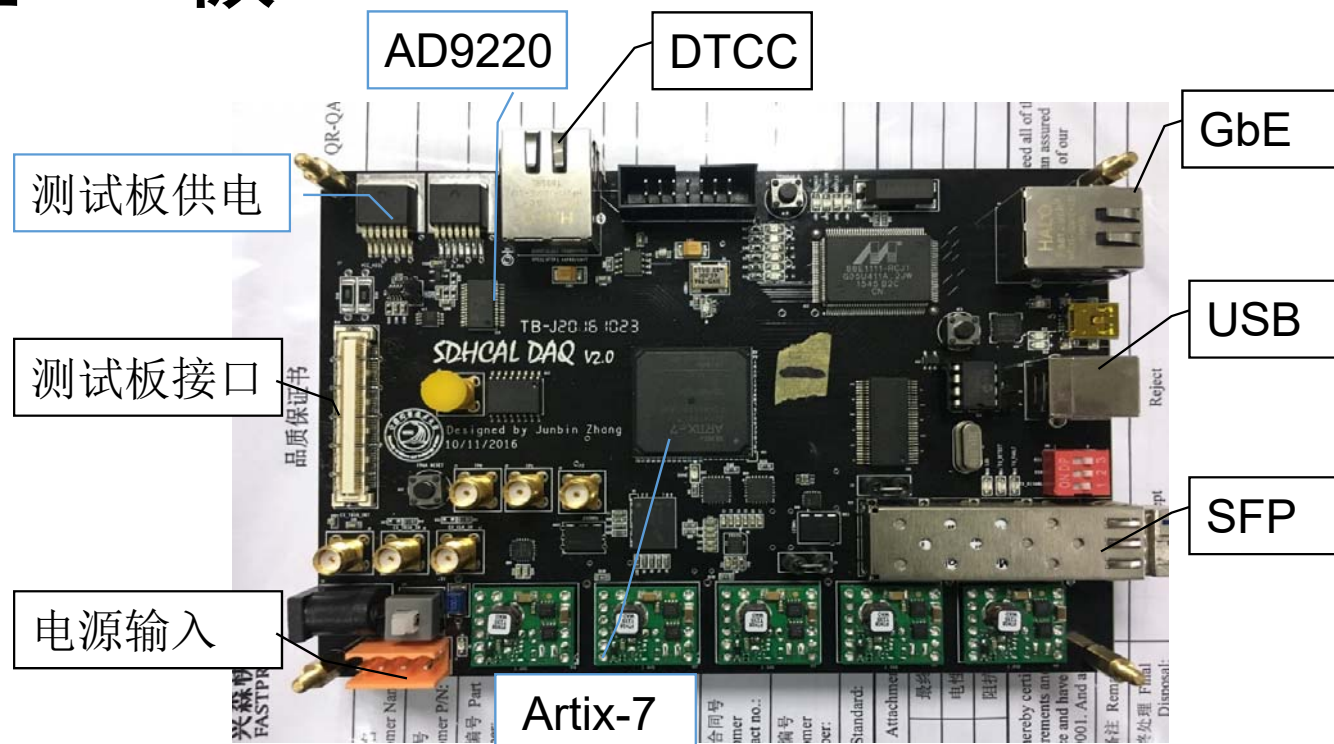


- ❑ 4片MICROROC菊花链式连接，减少与FPGA的连接管脚
- ❑ 与DIF板通过刚柔板互联
- ❑ 可选择供电模式

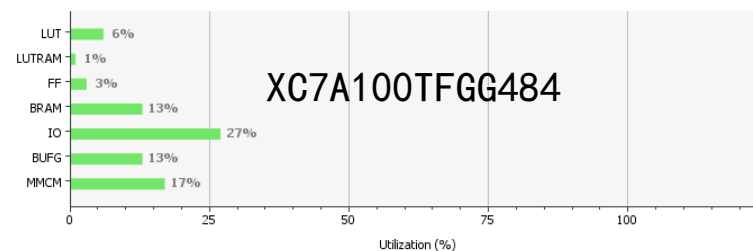
原型DIF原理框图



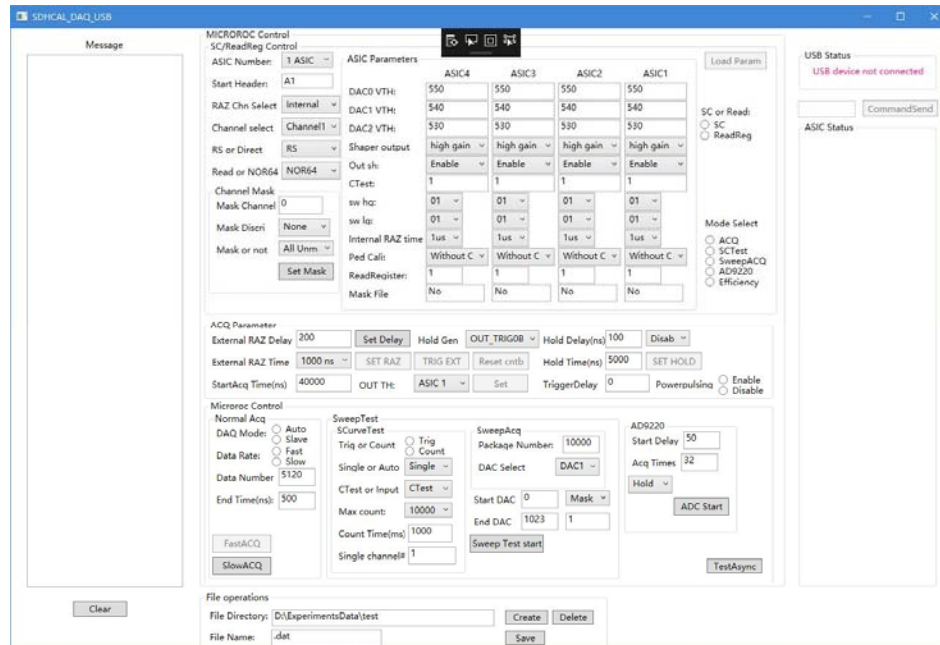
原型DIF板



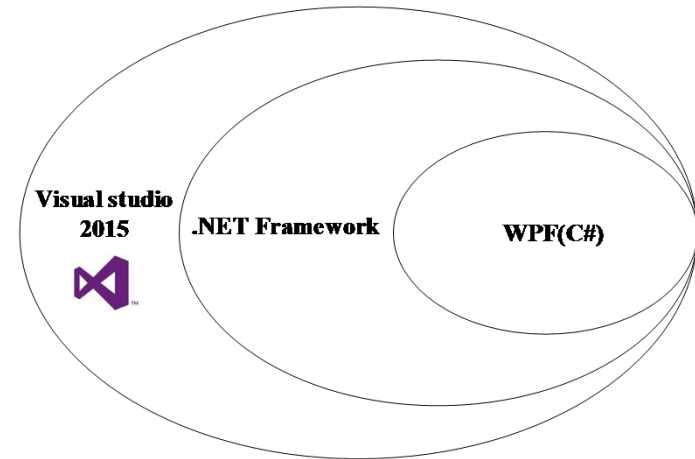
主控FPGA采用Xilinx高性价比Artix-7



上位机软件

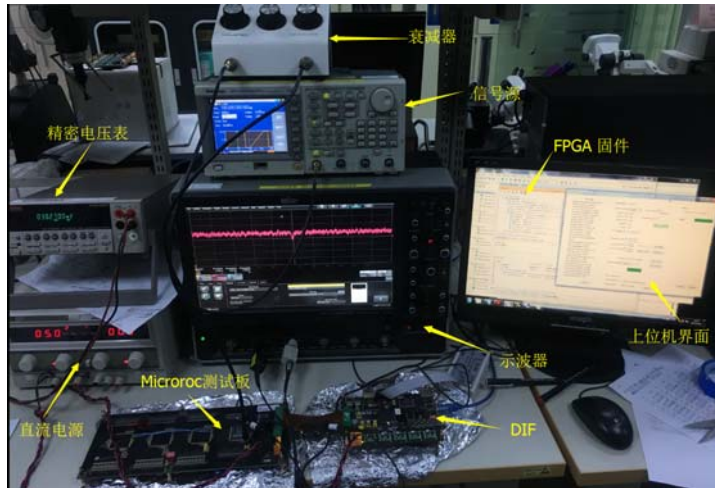
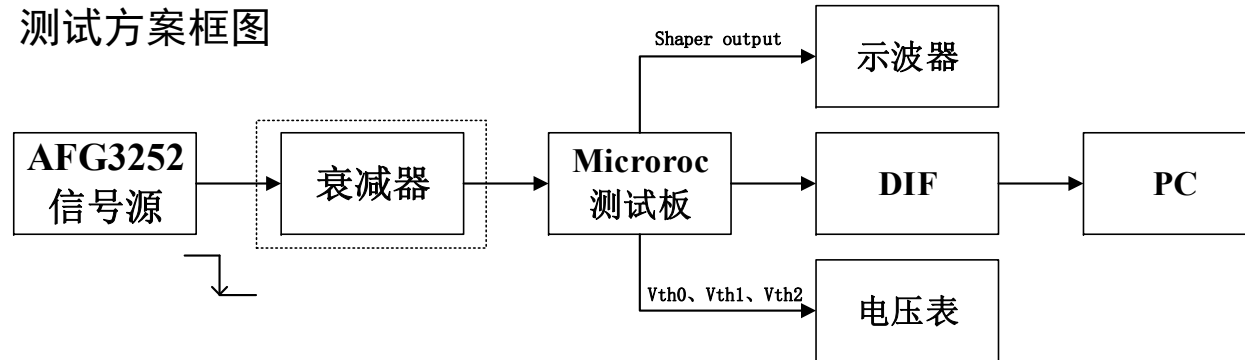


- ❑ 集成4片MICROROC芯片参数的独立配置
- ❑ S曲线自动化测试
- ❑ 数据采集
- ❑ 文件读写
- ❑ 消息显示



信号源测试平台

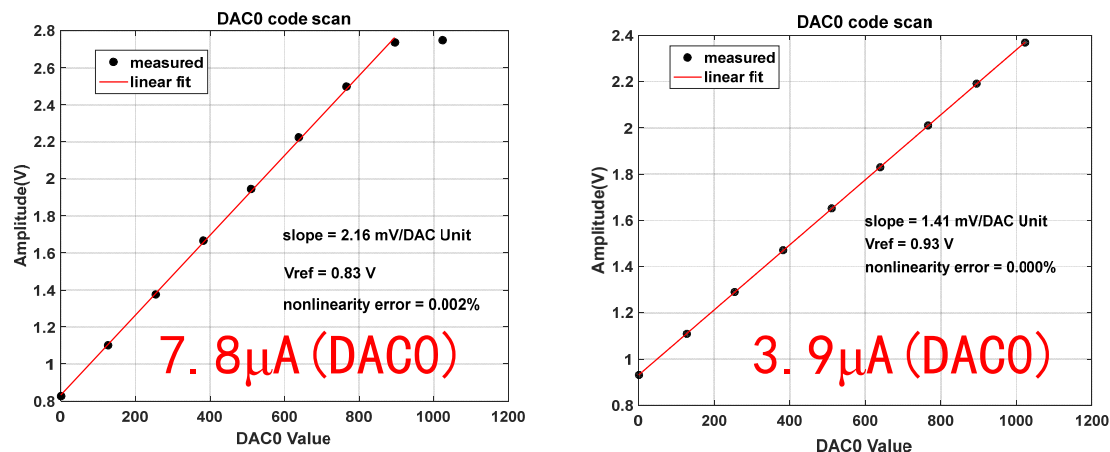
测试方案框图



测试项：

- ☐ 阈值DAC线性扫描
- ☐ 高增益成形基线修正
- ☐ 击中测试
- ☐ 基线测试 (S曲线)
- ☐ DAC阈值对应能量曲线 (S曲线)
- ☐ 片外ADC测试

功能测试——阈值DAC扫描



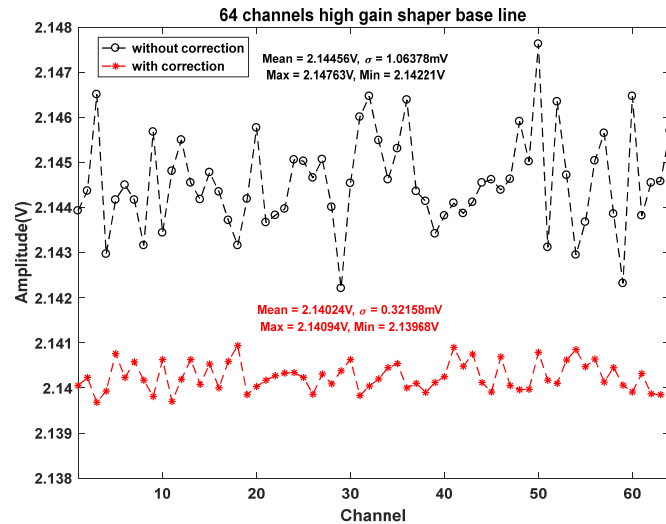
3个DAC的测试结果（参考电流在7.8 μ A条件下）

DAC	增益(mV/DAC Unit)	Vref (V)	非线性误差	线性范围 (V)
DAC0	2.16	0.83	0.002%	0.83~2.736
DAC1	2.13	0.83	0.001%	0.83~2.73
DAC2	2.14	0.83	0.001%	0.83~2.747

3个DAC的测试结果（参考电流在3.9 μ A条件下）

DAC	增益(mV/DAC Unit)	Vref (V)	非线性误差	线性范围 (V)
DAC0	1.41	0.93	0.000%	0.93~2.370
DAC1	1.41	0.93	0.000%	0.93~2.373
DAC2	1.41	0.93	0.000%	0.93~2.373

功能测试——4-bit DAC基线修正



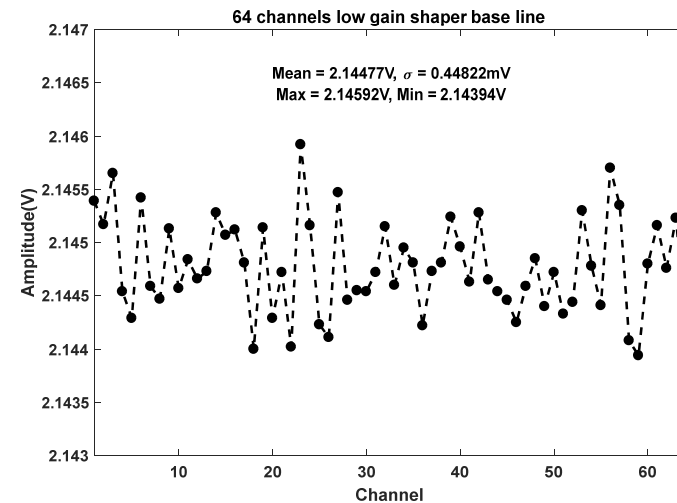
每一个通道的高增益成形具有都
4-bit DAC基线微调功能

修正前 $\sigma=1.063\text{mV}$

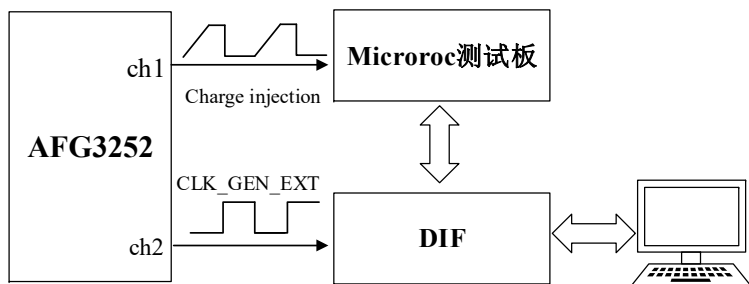
修正后 $\sigma=0.321\text{mV}$

低增益成形没有基线微调功能

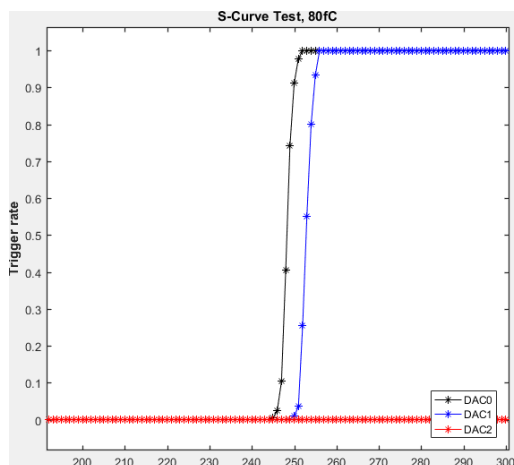
$\sigma = 0.448\text{mV}$ 。



S曲线测试



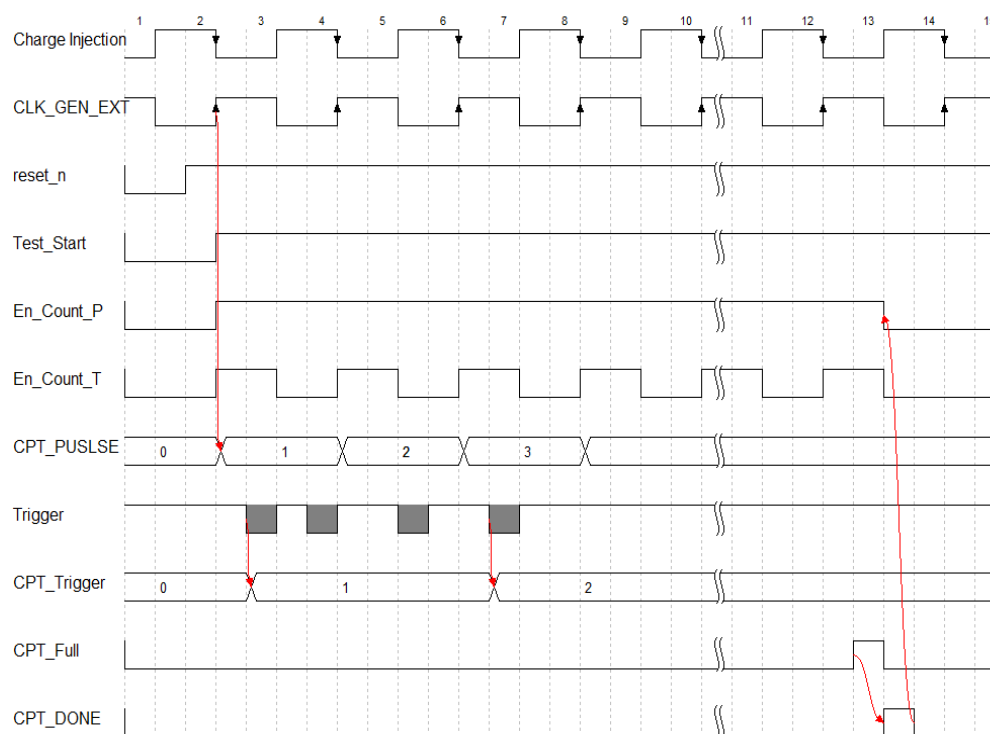
S曲线就是用来测试在不同电荷输入的情况下，DAC码值与触发率的关系，从触发率曲线确定DAC阈值。



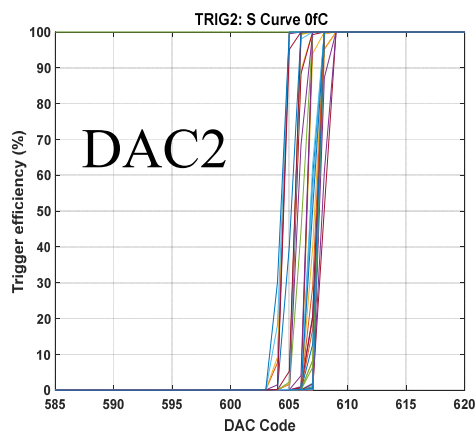
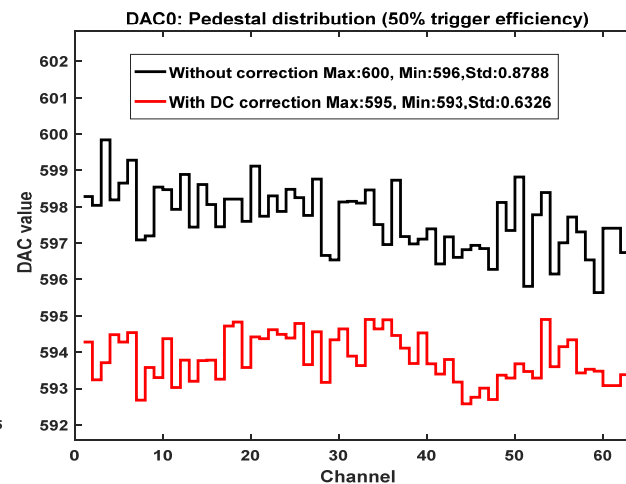
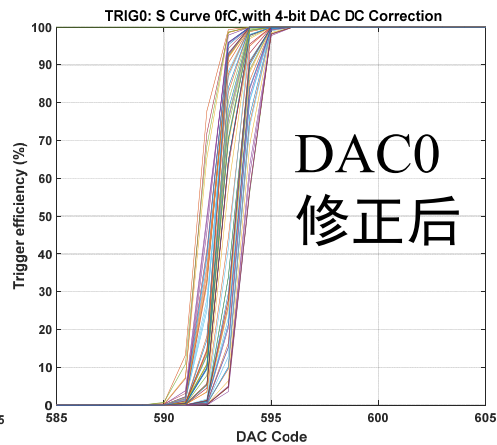
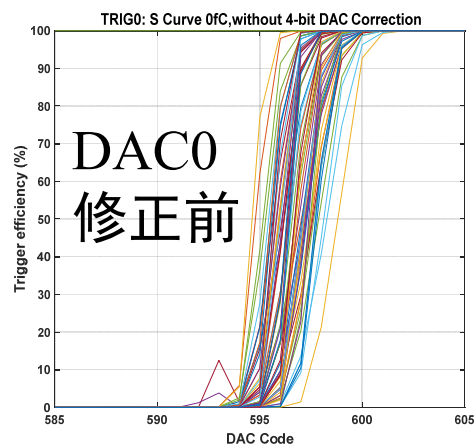
CPT_PULSE:注入电荷计数

CPT_Trigger:触发计数

触发率=CPT_Trigger/CPT_PULSE



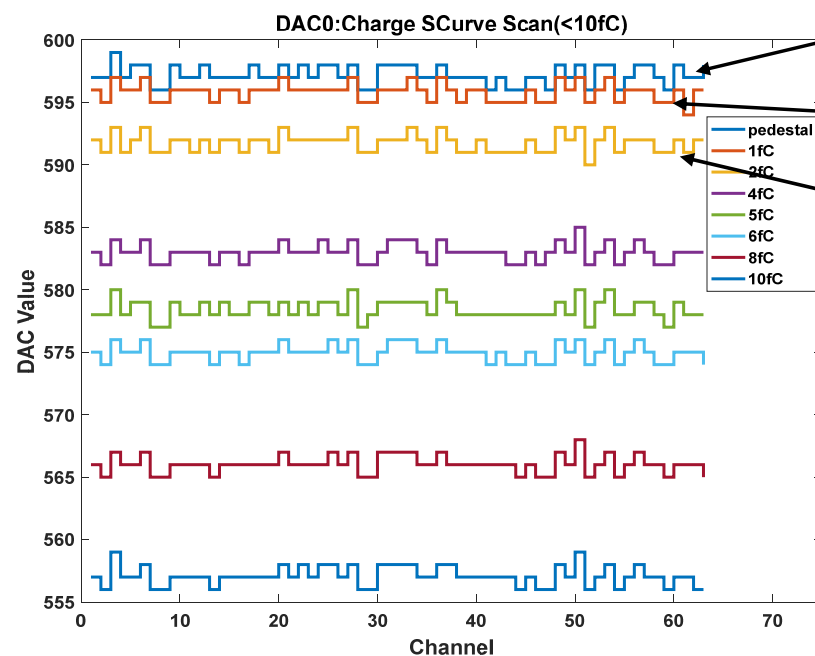
信号源测试——基线测试



64通道高增益通道经过4-bit
DAC修正基线一致性变好

信号源测试——可分辨最小阈值

小荷量注入（0~10fC）注入下S曲线扫描



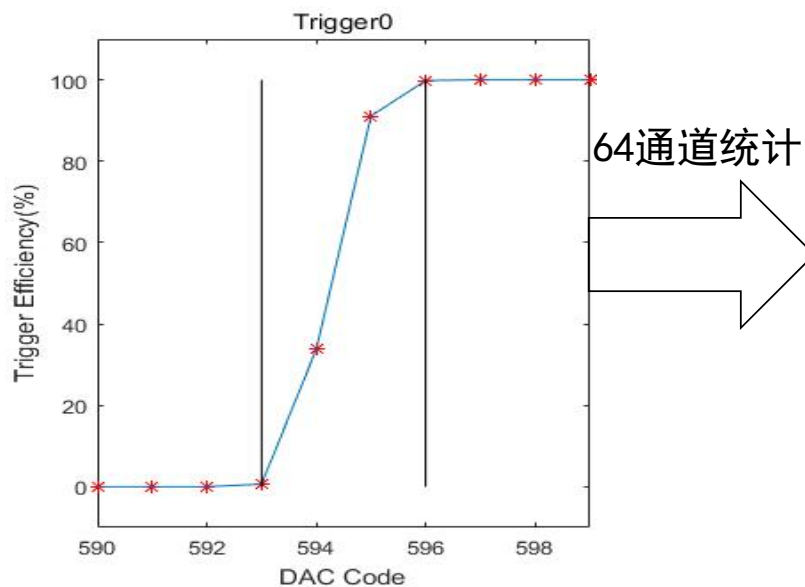
0fC(基线)

1fC

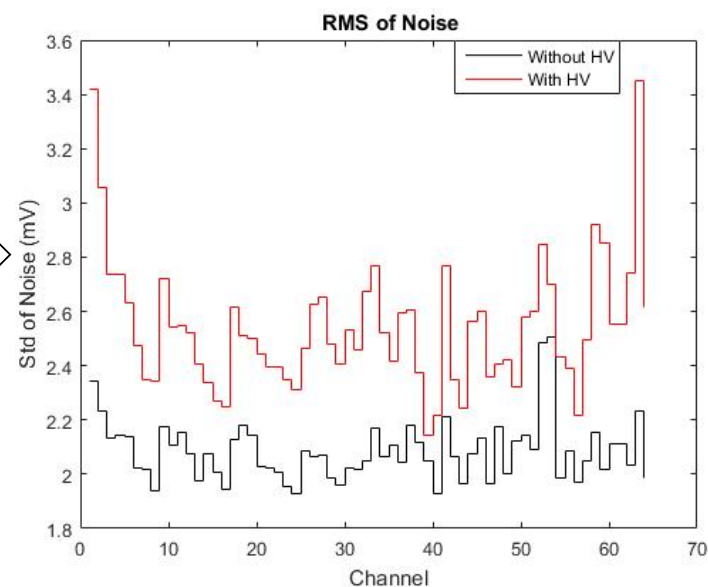
2fC

可分辨最小电荷量为2fC

信号源测试——噪声测试



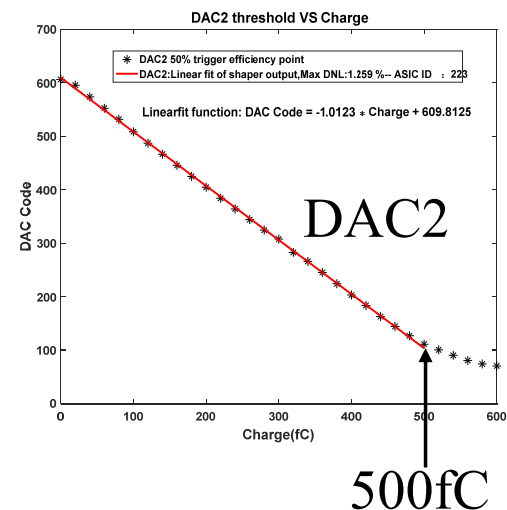
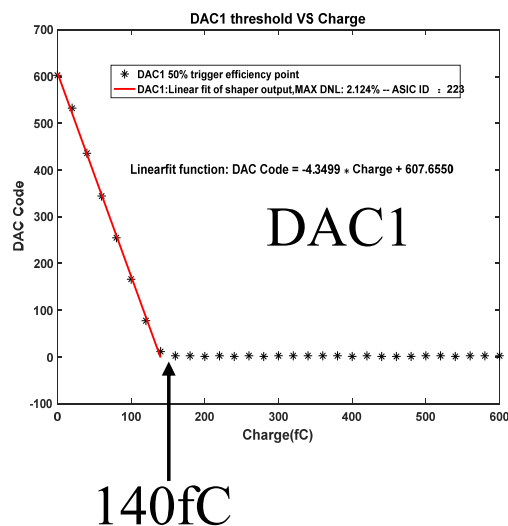
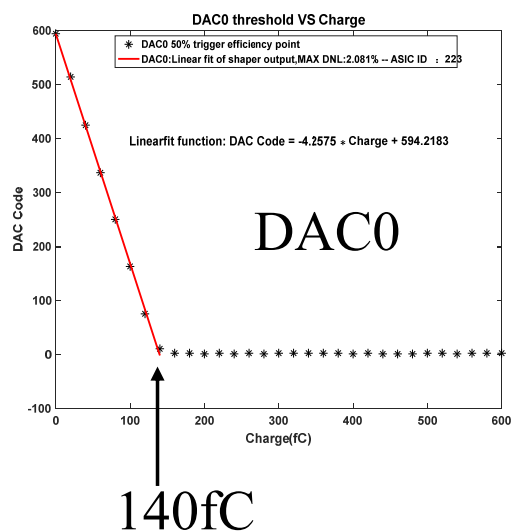
0输入情况下S曲线
噪声的累计概率密度曲线,



64通道噪声RMS
最大值3.4fC (1fC \approx 10mV)

信号源测试——阈值刻度

阈值设置曲线描述阈值DAC的码值与注入电荷量的关系（S曲线）

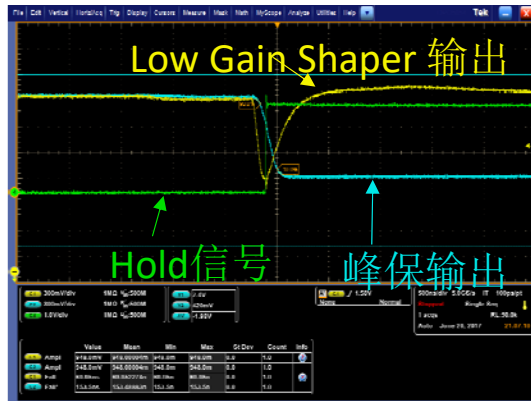


DAC0 (1fC~140fC): DAC threshold = $-4.26 \times \text{Charge} + 594.2$

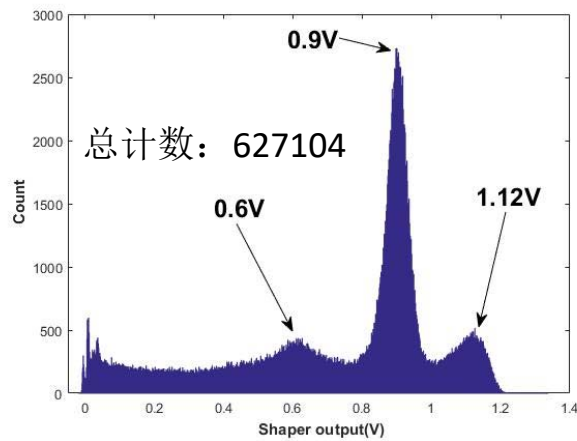
DAC1 (1fC~140fC): DAC threshold = $-4.35 \times \text{Charge} + 607.5$

DAC2 (1fC~500fC): DAC threshold = $-1.01 \times \text{Charge} + 609.8$

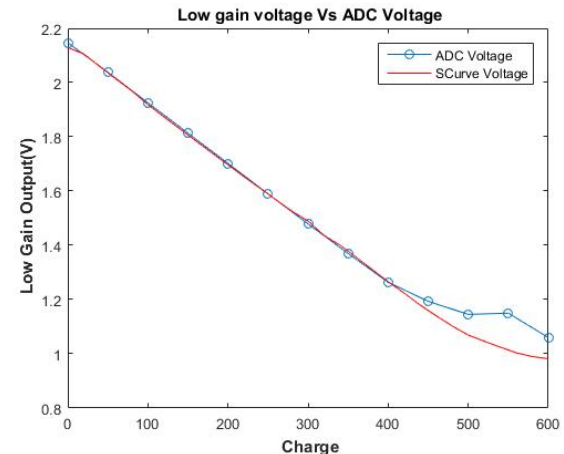
片外ADC测试



利用片外ADC对Microroc
峰保输出进行测量



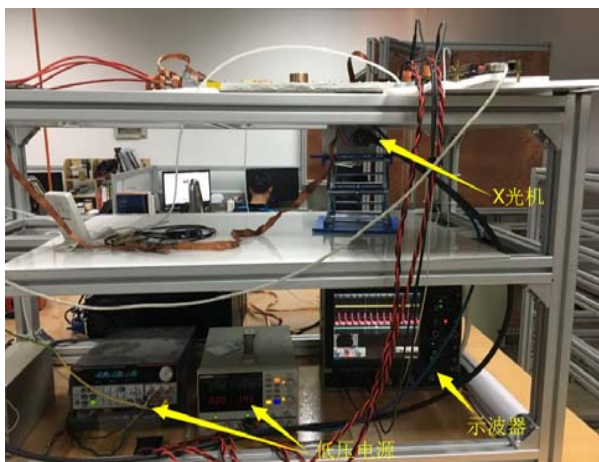
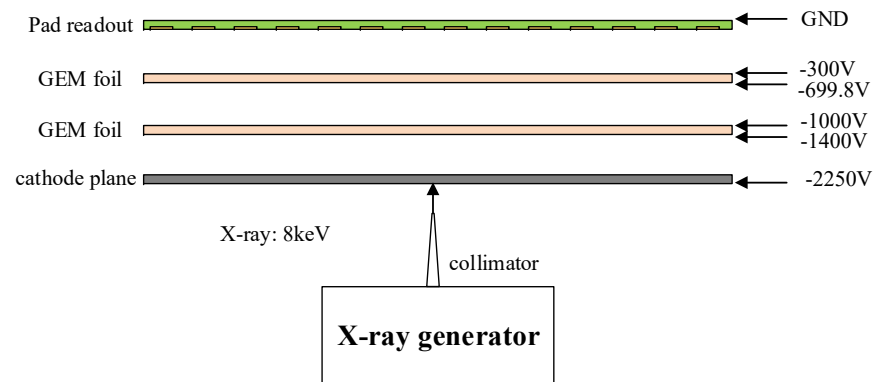
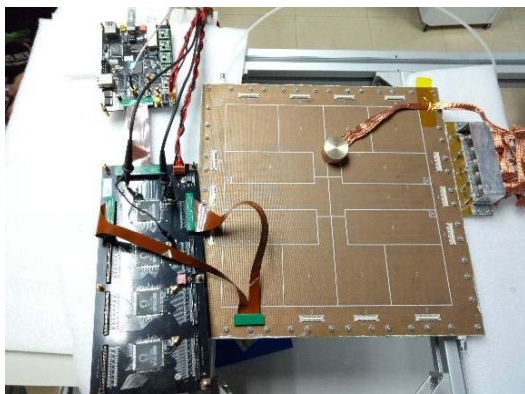
利用片外ADC采8keV
X射线能谱



利用片外ADC刻度，由于峰保
是测试管脚，存在非线性

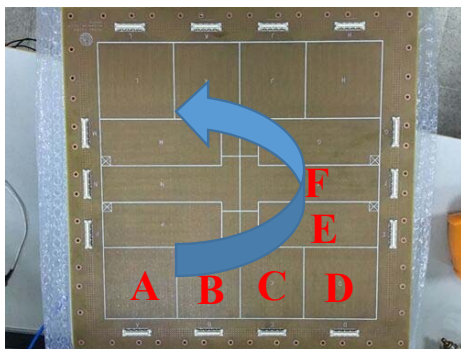
- 电子学和探测器联调
 1. 探测器增益均匀性测试
 2. 宇宙线效率测试
 - 2.1 效率
 - 2.2 能谱初步扫描

探测器联调平台



30cmX30cm_GEM增益均匀性测试

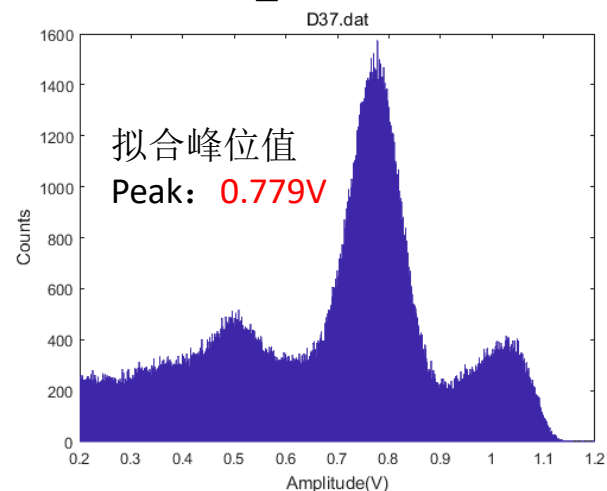
- 加高压1小时，X光机开机~15分钟后测试
- 每隔一个pad测一个点，共测450个pad。



MICROROC测试板：PCB上集成4片MICROROC（3阈）。

DIF板：完成MICROROC数据采集、配置、自动化测试。

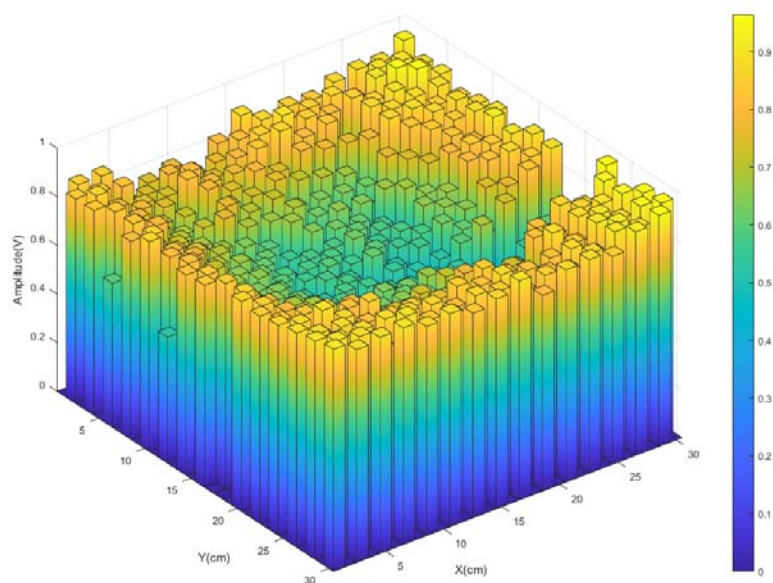
Pad_D37幅度分布



根据刻度结果，
电荷量 $q \sim 350fc$
对应探测器增益 ~ 7300
感觉偏大！需要
重新检查！

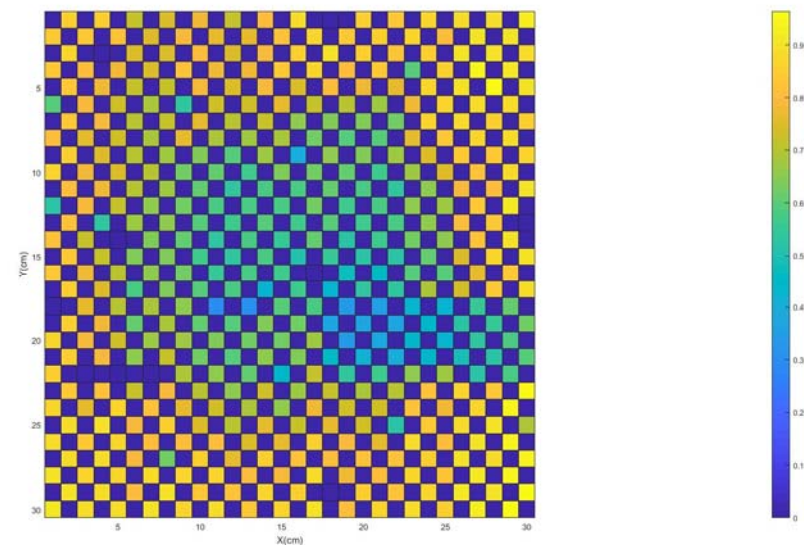
均匀性测试结果

幅度分布三维图

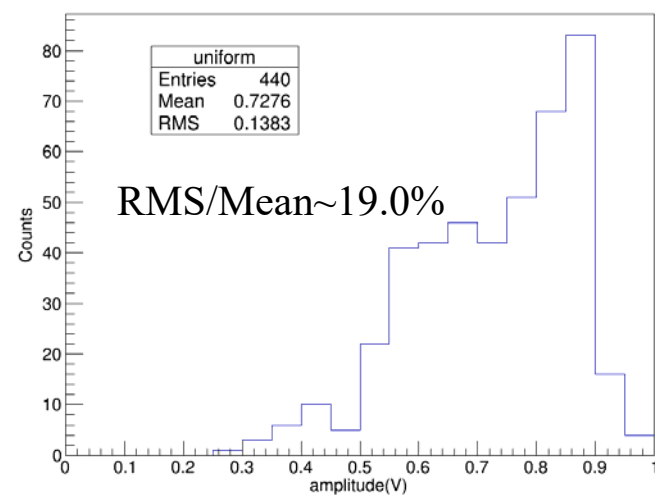


幅度：中间小，边缘大

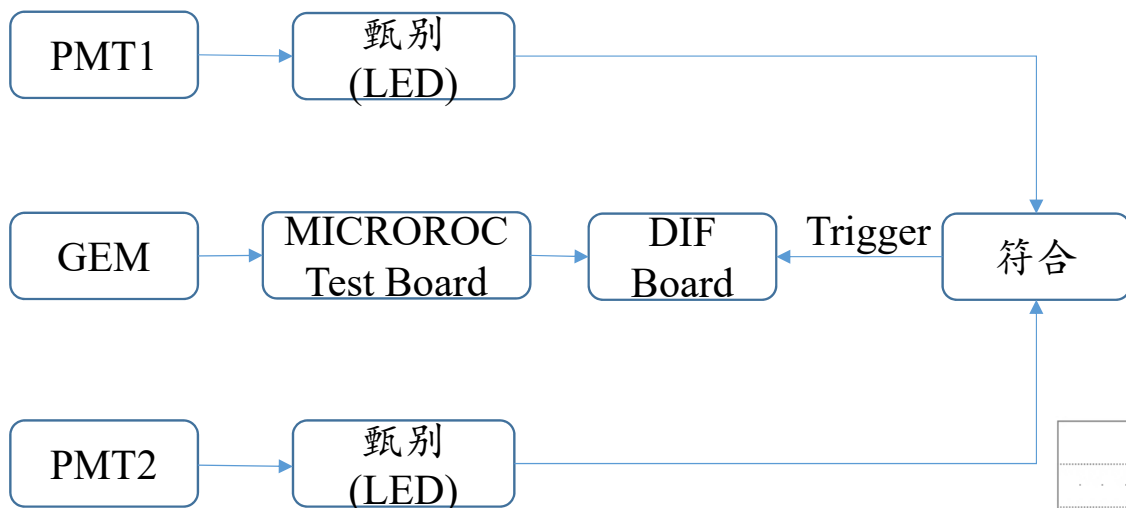
幅度分布二维图



uniform_30cmx30cm_GEM



效率测试

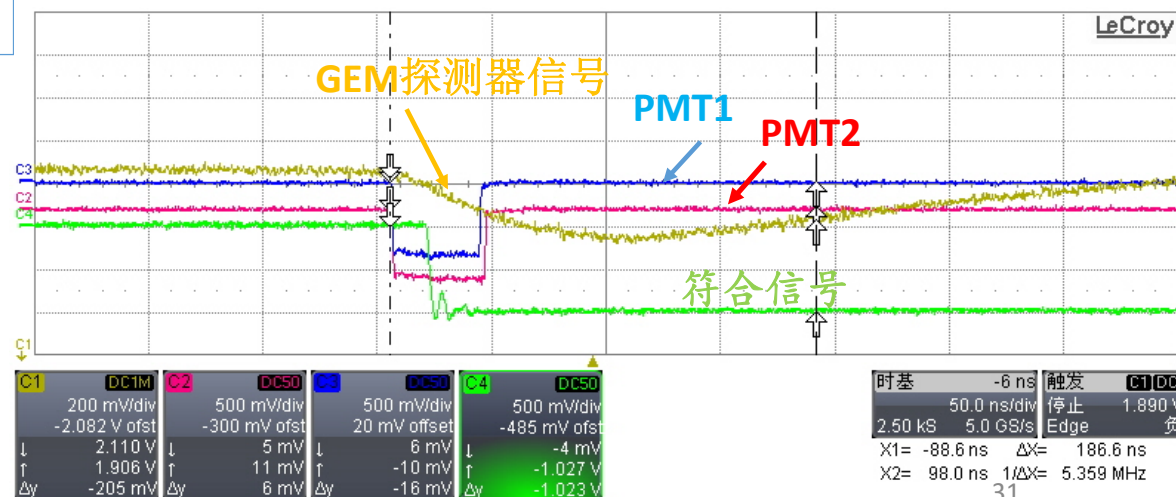


符合插件：ORTEC CO4020
甄别：CAEN N840

塑料闪烁体：HND-S2
尺寸：150×150×25(H) mm³
PMT：CR105-1
上下塑料闪烁体距离：~25cm

PMT阈值：255mV
GEM探测器阈值：6fc
探测效率：10981/13000~84.5%

需要进一步确定探测器增益！



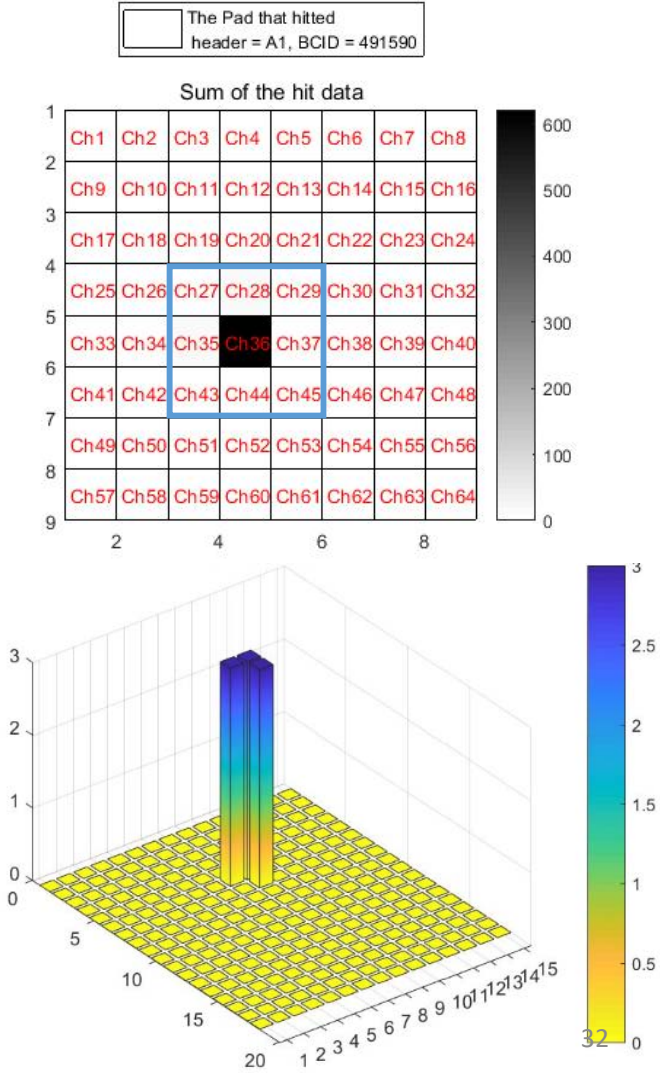
串扰分析？

设置3个阈，6fc、20fc、150fc。分别统计当击中pad信号过阈时，相邻信号过阈情况。

	非击中pad信号分析 (evts)		
	过第一个阈 6 fc	过第二个阈 20 fc	过第三个阈 150fc
过第一个阈 6 fc: 4864 (evts)	21	0	0
过第二个阈 20 fc: 4688 (evts)	49	35	0
过第三个阈 150 fc: 448 (evts)	23	21	5
总计数: 10000 (evts)	93	56	5

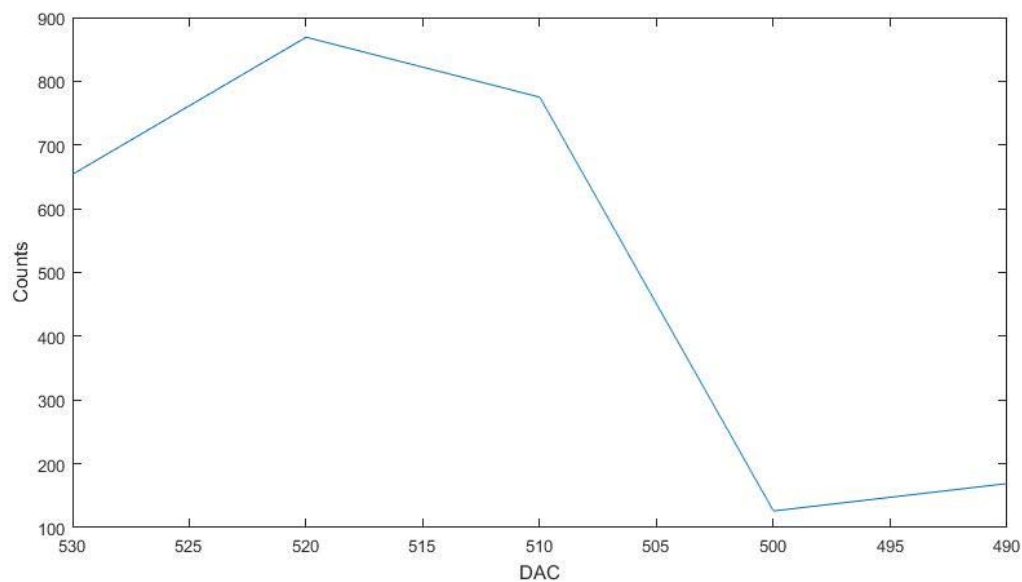
对相邻pad有影响的事例数所占比例为1.54%

示意图



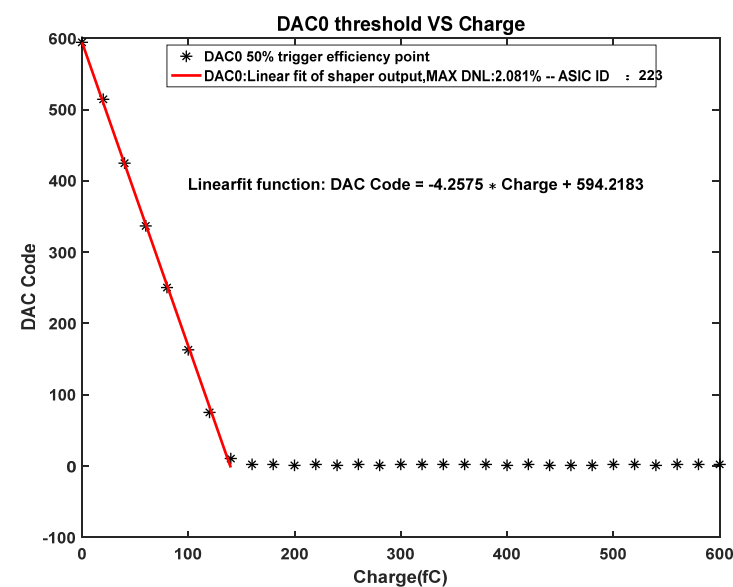
幅度谱初步扫描

幅度谱通过扫描一个个不同的阈值来实现。
本次测量中，每个阈值扫描10000个事例。PMT符合计数率为~40个/min。



初步来看，峰位在15fc左右。需要进一步扫描

DAC阈值刻度

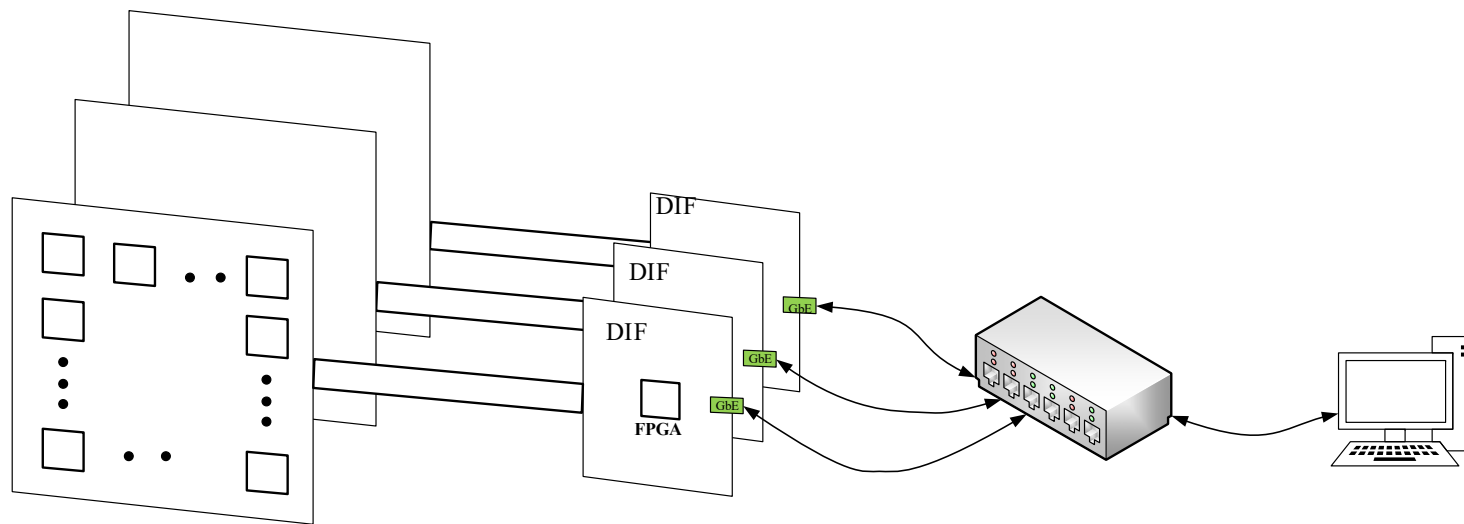


$$\text{DAC} = -4.26 \times \text{Charge} + 594.2$$

小结

- 实验中所用的GEM探测器的增益的不均匀约为19.0%
- 在现有的增益(需要重新检查)下，探测器对宇宙线的探测效率为84.5%。
- 考虑到几何效应以及串扰，击中pad后，对相邻pad产生影响的事例数所占的比例为1.54%。
- 初步进行了能谱扫描，估计峰位值在15fc，还需要进一步扫描。

下一步——探测器集成



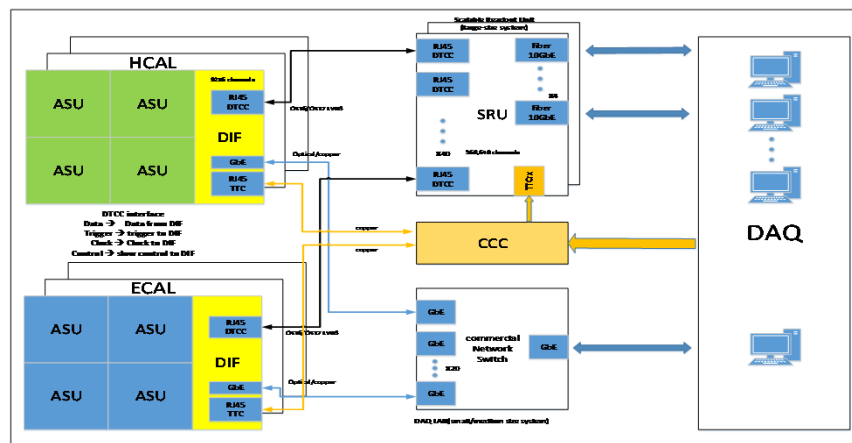
50cm x 50cm
盲埋孔工艺

新型DIF板
可同时处理多条数据链路

电子学ASIC集成到探测器背面

未来量能器数据获取系统

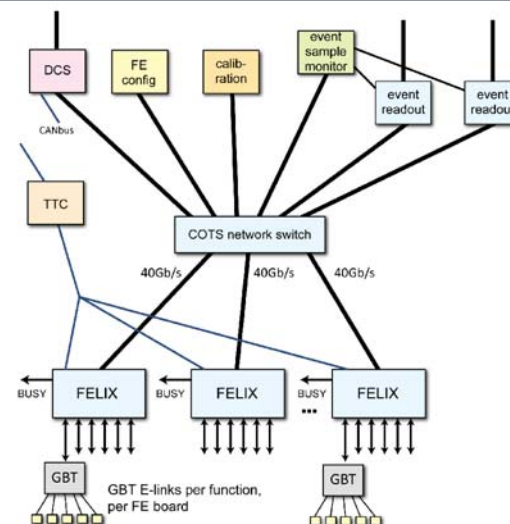
方案一：SRS架构



方案二：FELIX架构

(Front End Link eXchange)

通用可扩展的数据获取架构



Back up

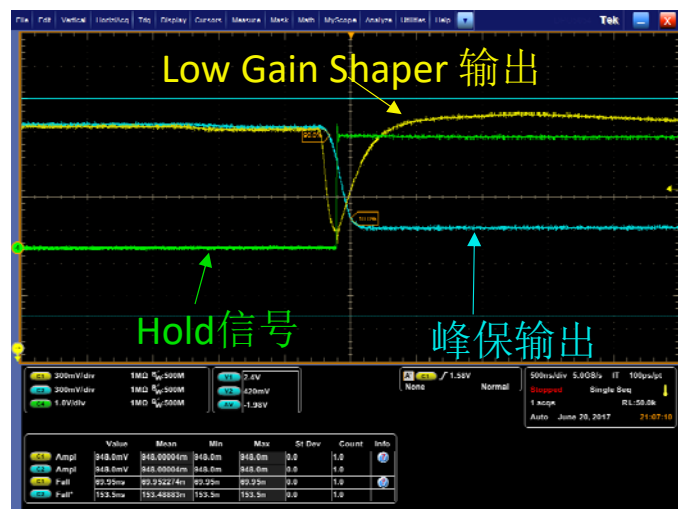
ADC测试

ADC:

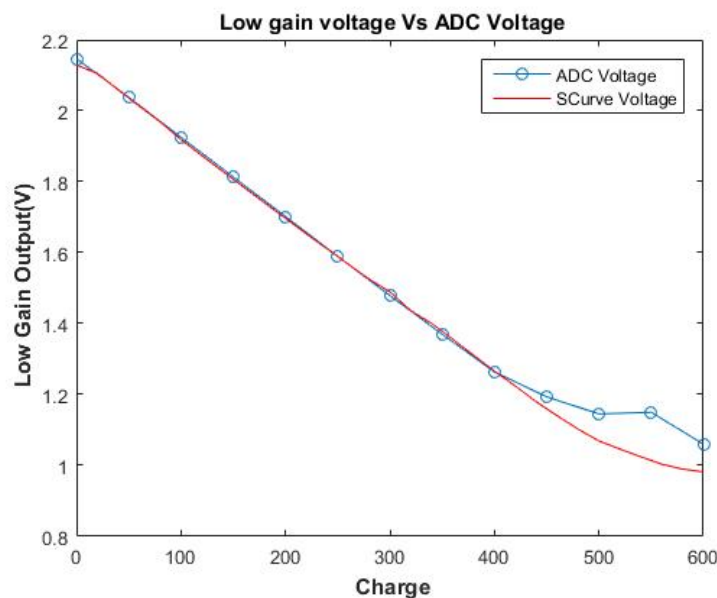
采样率10M、12-bit、参考电压5V

一个ADC码值对应 $\frac{5V}{4095} = 1.221mV \sim 0.556fC$

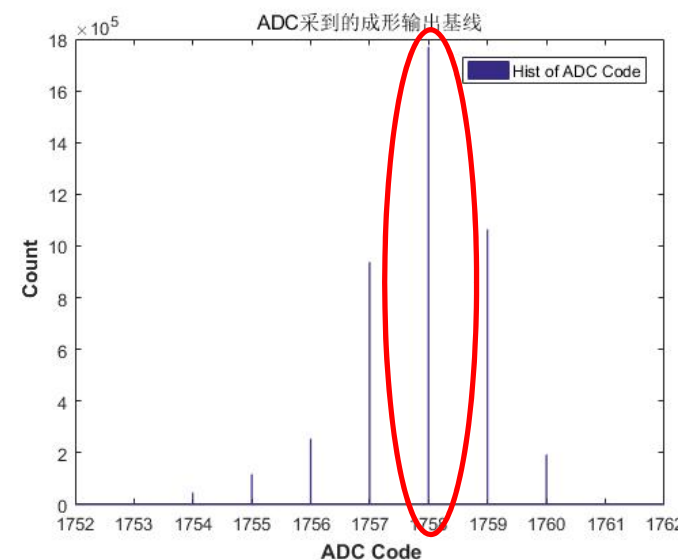
峰保输出



ADC刻度



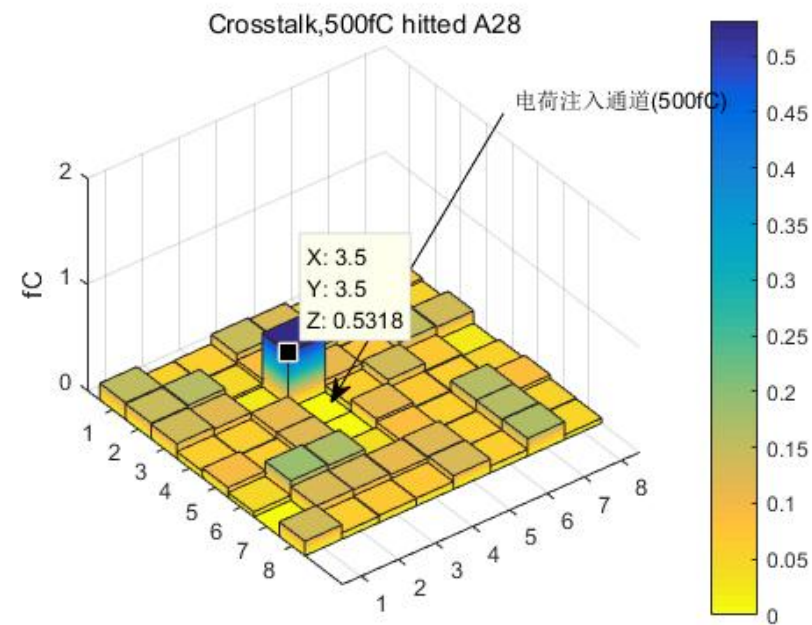
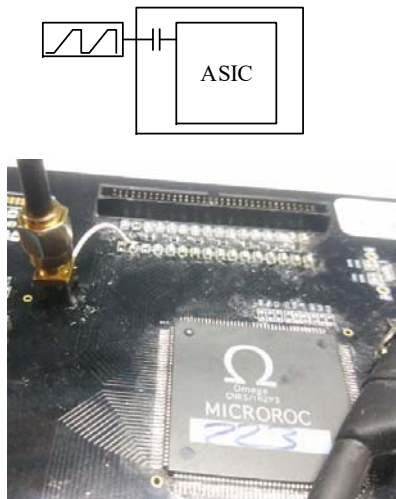
基线测试



基线电压: 2.1465V

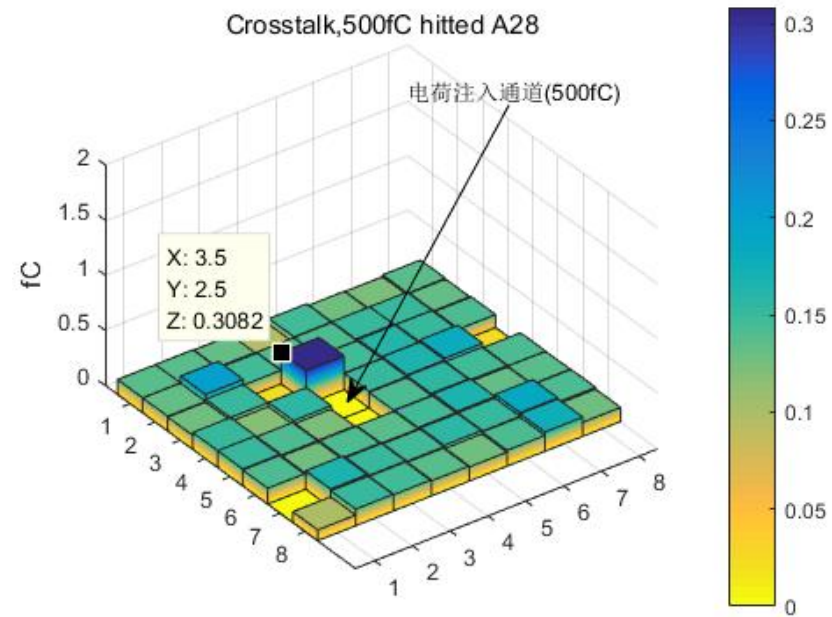
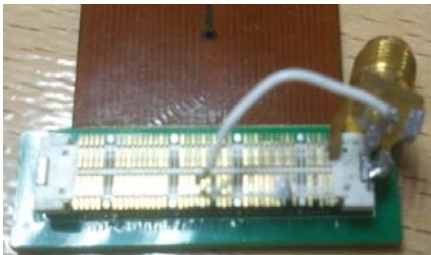
串扰分析

- 分别在3种情况下测量了串扰
 - 1. 直接在芯片输入端注入电荷



串扰分析

- 2. 接上连接器，在连接器的一端注入电荷(500fC)



串扰分析

- 3. 接上阳极板，在阳极板的一个Pad注入电荷(500fC)

