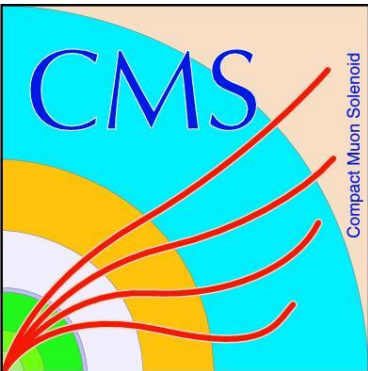


CMS HGCal Module Testing

Huajie Cheng (程华杰)

LHC 探测器升级研讨会
August 11, 2020



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

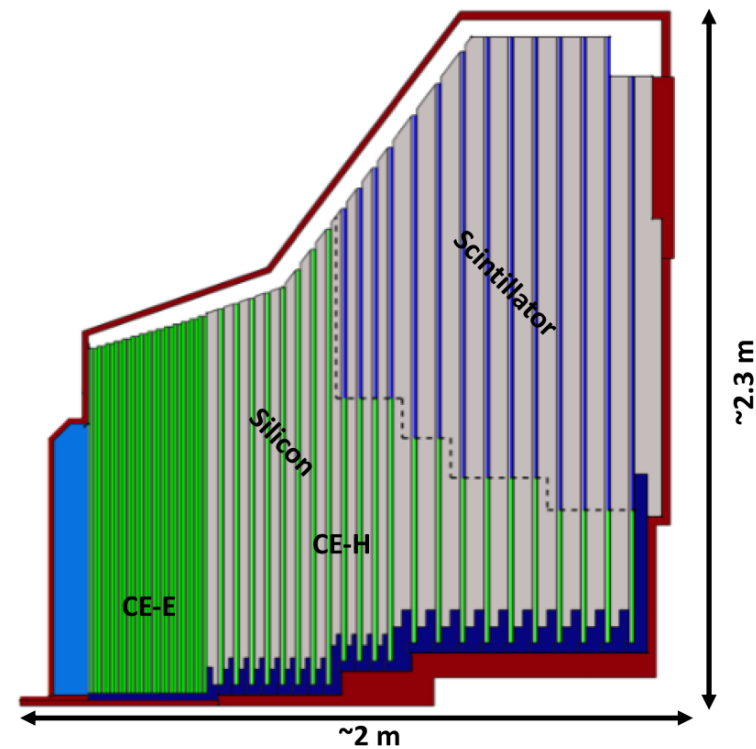
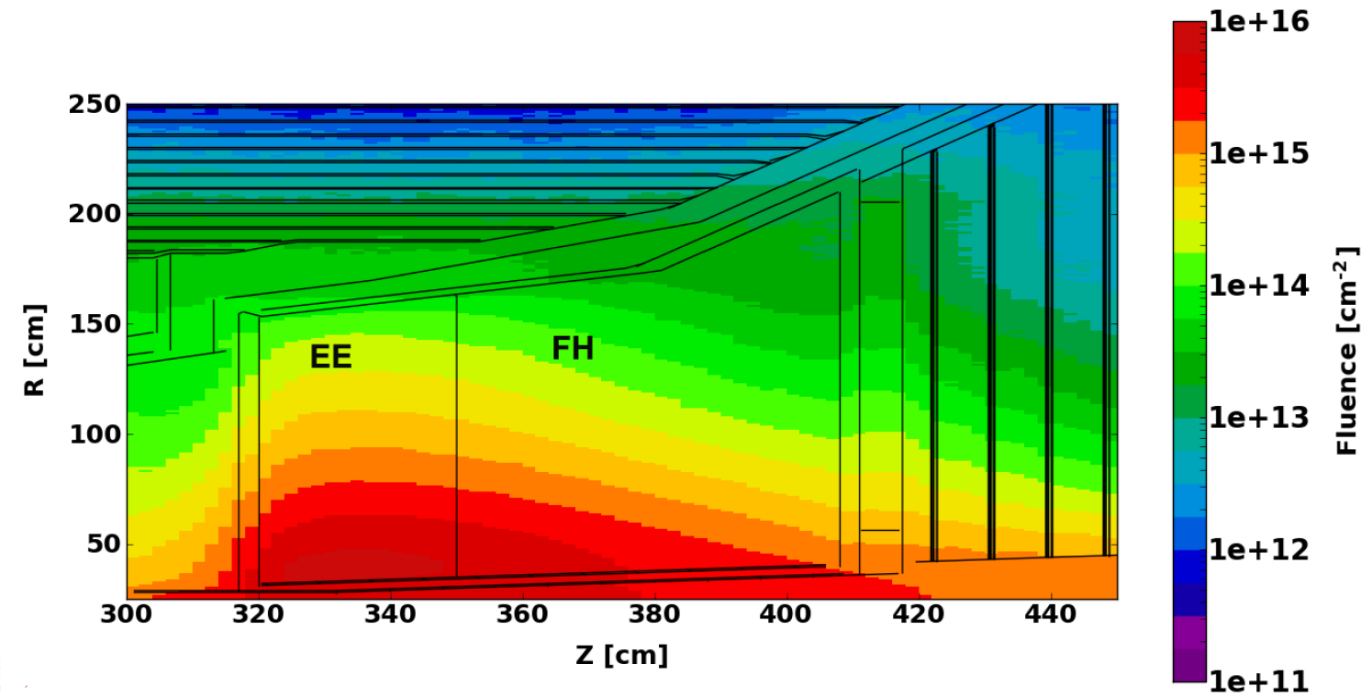


National
Taiwan
University

CMS HGCal Design

- 针对 HL-LHC 上极高的 pile-up, 在前端增加硅+闪烁体组合的量能器
 - CE-E 及 CE-H 高辐射区使用高抗辐照性能的硅
 - 8" 模块, 192 个 channel, 可达每立方厘米一个读出
 - 目前使用 6" 模块进行测试工作

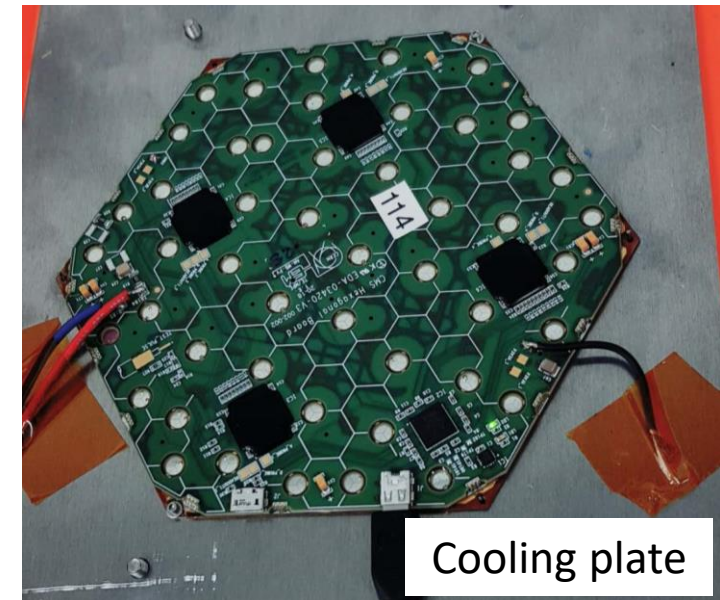
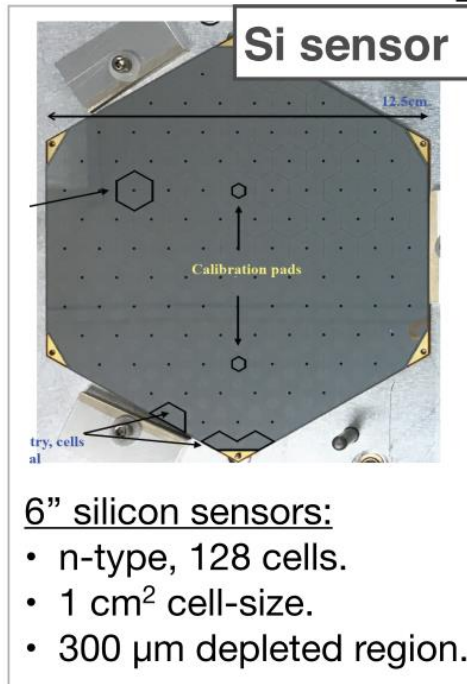
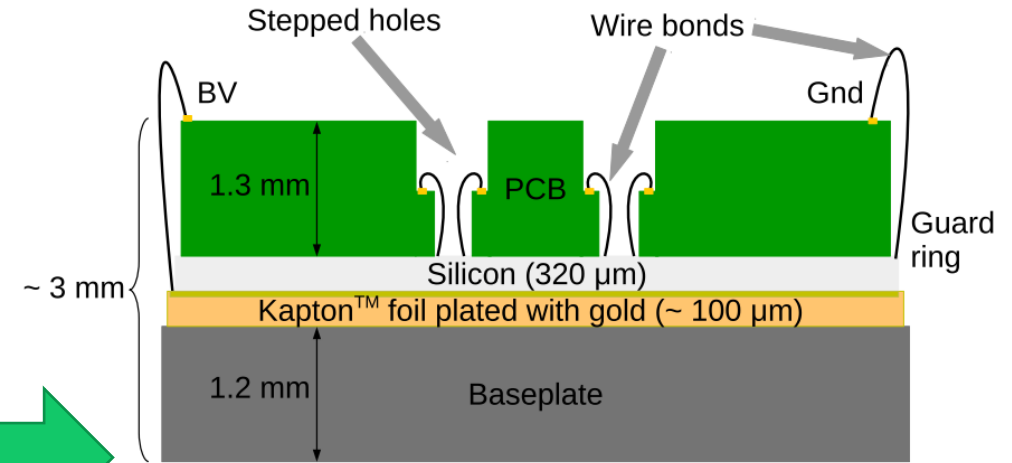
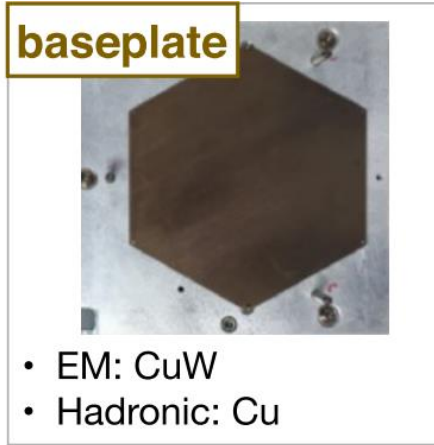
1MeV neutrons equivalent CMS HGC 3000 fb⁻¹



Electromagnetic calorimeter (CE-E): Si, Cu/CuW/Pb absorbers, 28 layers, $25.5 X_0$ & $\sim 1.7 \lambda$
Hadronic calorimeter (CE-H): Si & scintillator, steel absorbers, 22 layers, $\sim 9.5 \lambda$

Silicon module (6 inch)

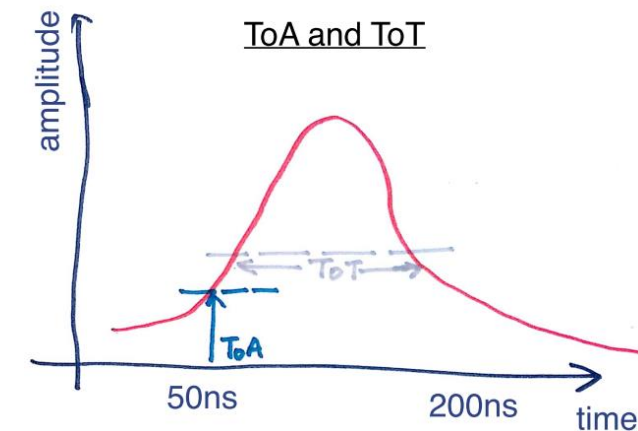
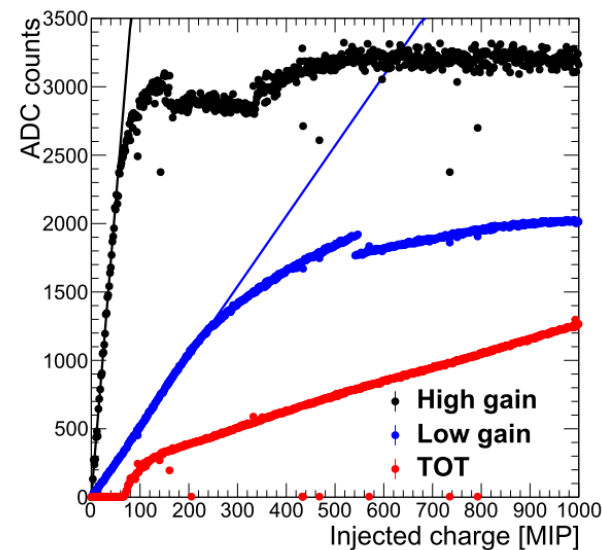
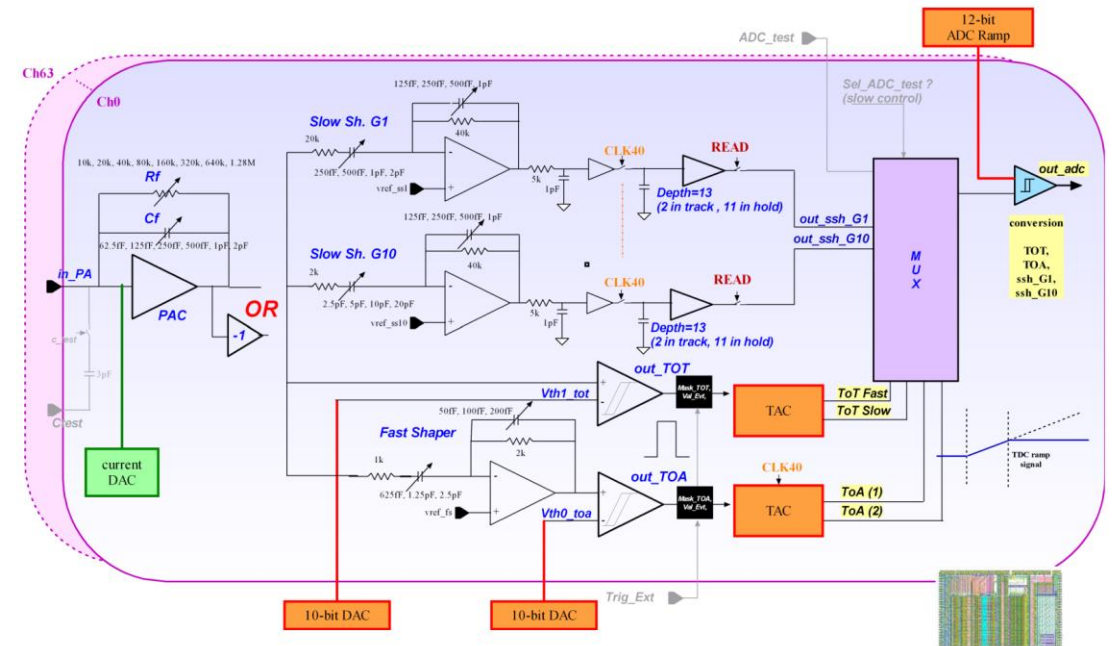
➤ Module assembled as glued stack of baseplate, Kapton, Si sensor and PCB.



Silicon module (6 inch)

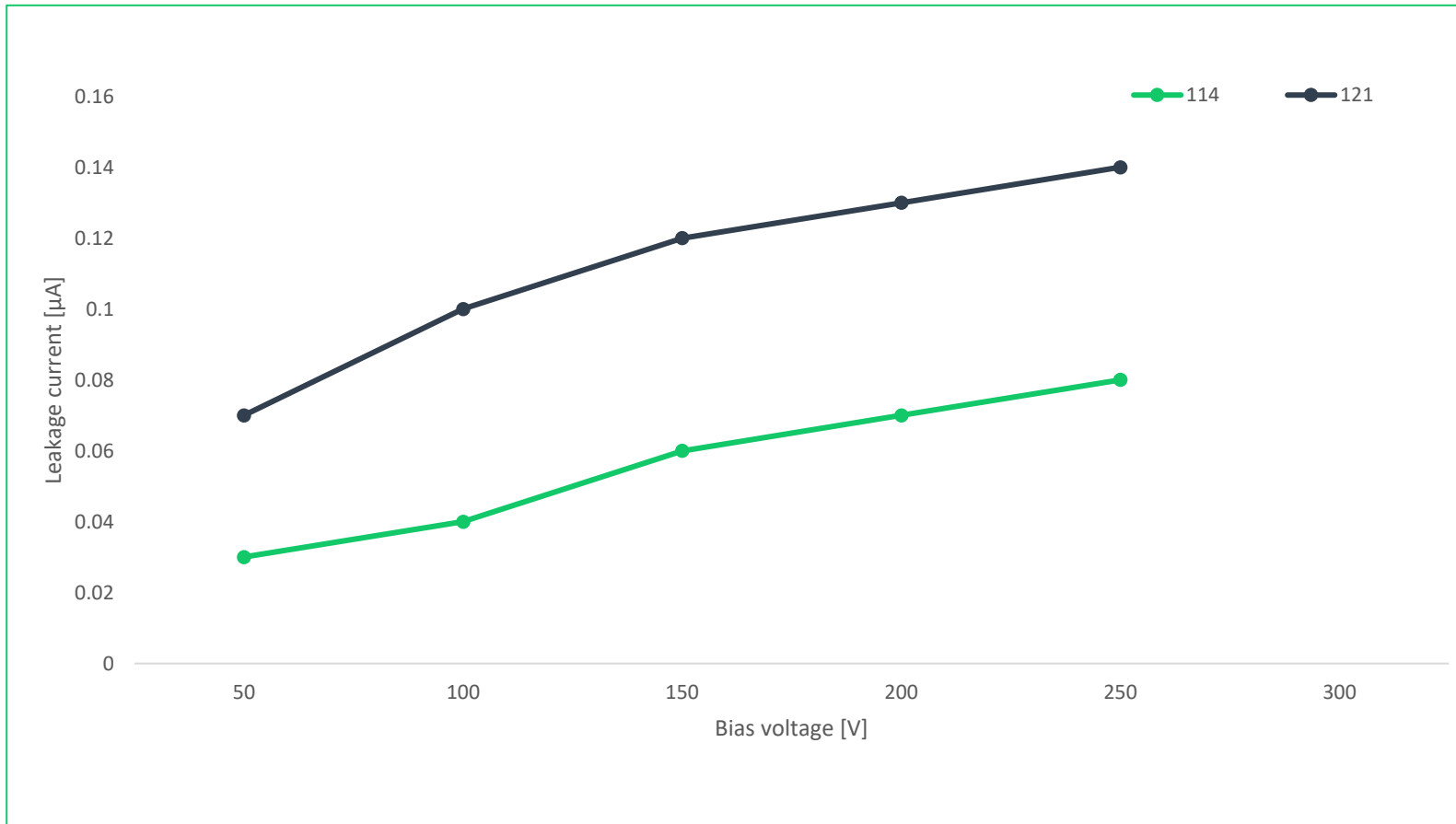
➤ The Skiroc2-CMS ASIC

- Derived from CALICE SKIROC2 chip
- 64 channels (though 32 are connected to a silicon pad)
- 2 slow shapers (shaping time between 10 and 70 ns) per channel with
 - ▶ a 13-deep 40 MHz analog memory used as waveform sampler
 - ▶ 12-bit ADC
- Fast shaper (shaping time between 2 and 5 ns) and discriminators for
 - ▶ Time over threshold to measure large signal (preamplifier saturation region)
 - ▶ Time of arrival (50 ps timing resolution foreseen)
- More details in this paper : J. Borg et al. *SKIROC2_CMS an ASIC for testing CMS HGAL*



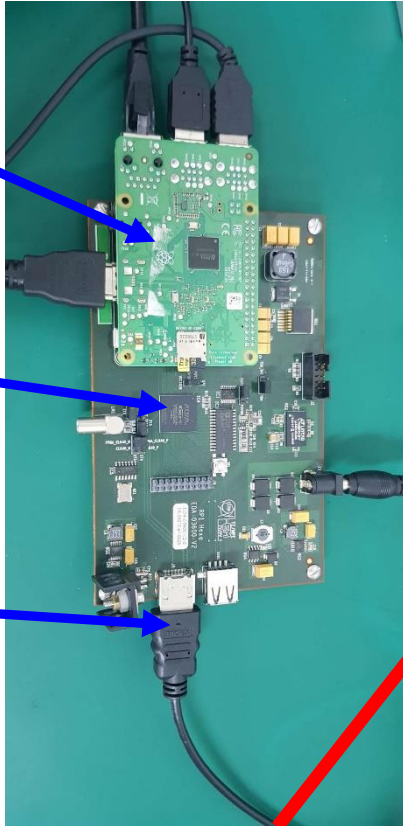
IV 测试

- Sensor 单个 channel 的 IV/CV 测量需在封装前使用 Probe-card 进行测量
- 还需进行封装后整个模块的IV测试
 - 两块 6” 模块在不同偏压下的漏电流 （置于暗盒中）



Test-stand

Teststand



Raspberry® Pi3

MAX® 10 FPGA

HDMI connector

Module



Interposer



HV source

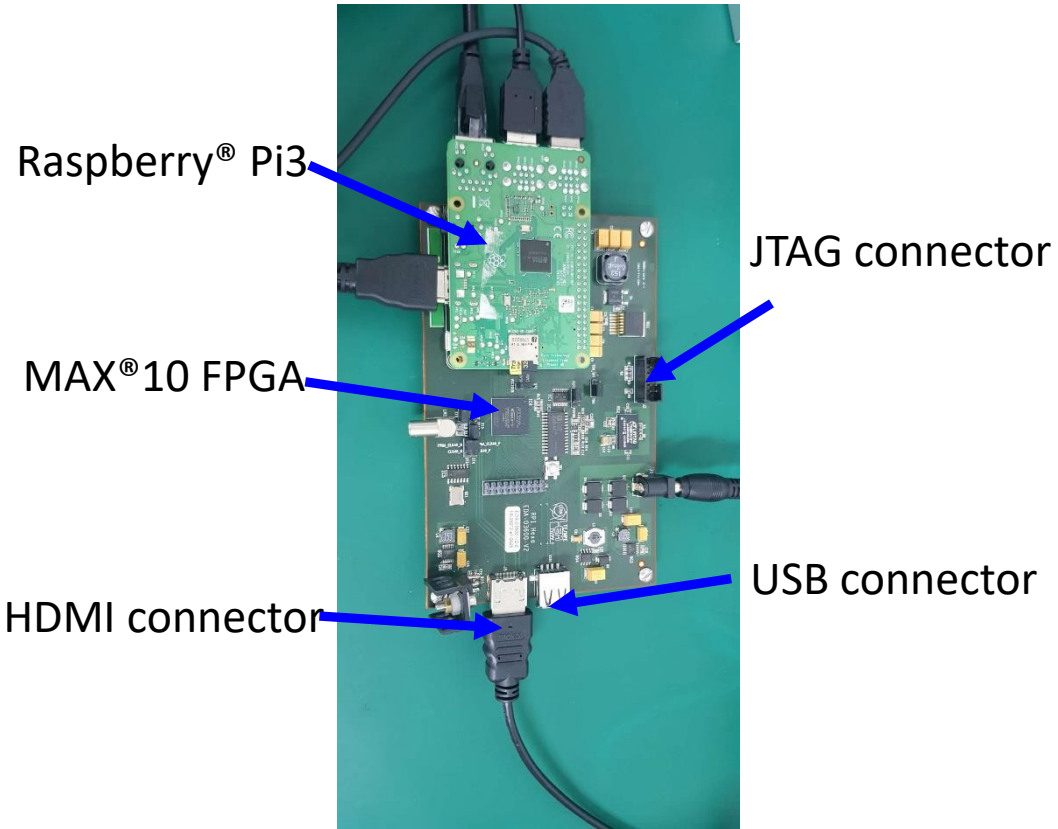


Dark box



- Test-stand 用于进行 PCB 及 组装好的模块的测量
- 测量时需外加偏压 (200 V)

Firmware 及 DAQ



- Raspberry Pi3 操作系统: NOOBS
- 通过 JTAG 对 test-stand (及 hexaboard, 二者通过 USB 连接) 上的 FPGA 进行编程

firmware: <https://gitlab.cern.ch/cms-hgcal-tb/rpi-daq/-/tree/firmware>

➤ 取数程序:

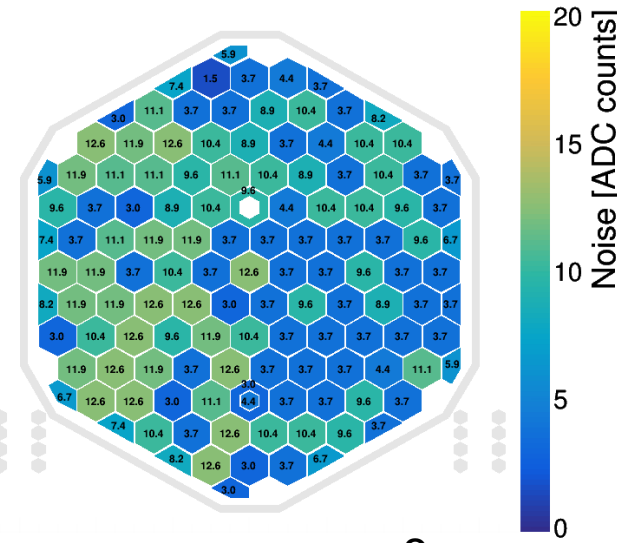
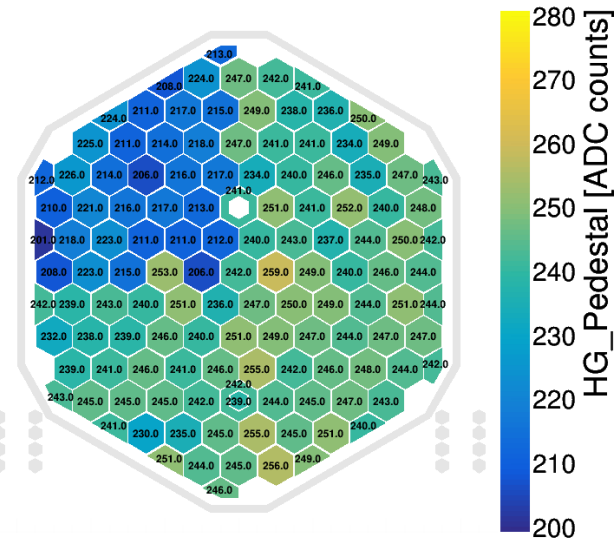
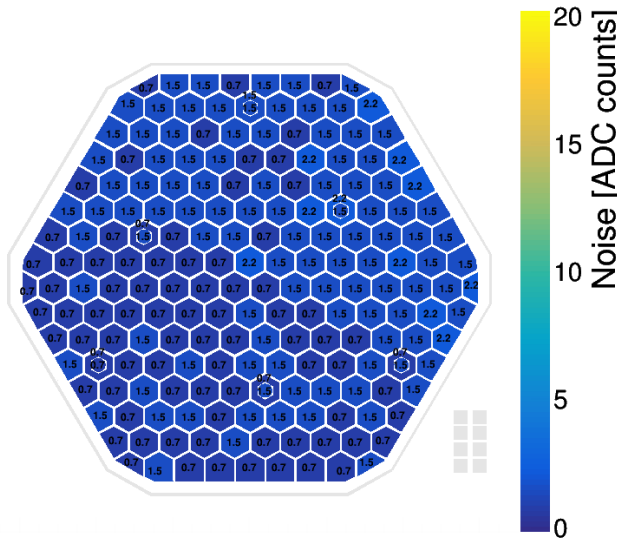
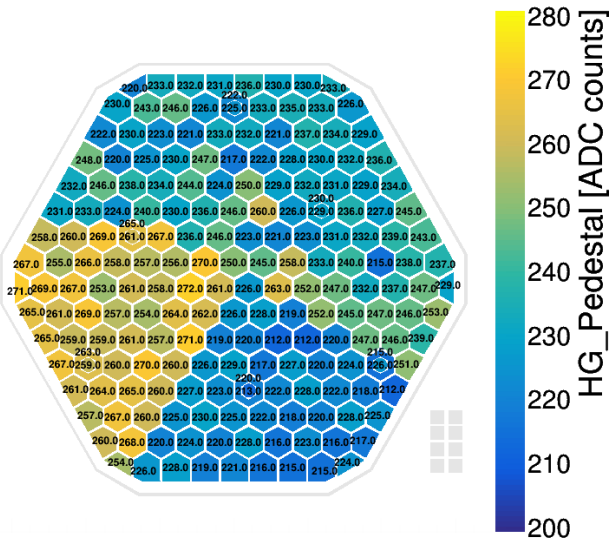
- RPI-DAQ: <https://gitlab.cern.ch/cms-hgcal-tb/rpi-daq/>
- 常用取数模式:
 - standard: pedestal runs
 - sweep: charge injection
 - external_trigger: cosmic trigger

Pedestal and Noise

- 测量 High gain 和 Low gain 的基准信号 (Pedestal) 及噪声测量是测试工作中的主要任务
- 信号一般位于第三到第五个时间样本 (time sample, TS) 中，第一个 TS 不受信号干扰，可用于测量 pedestal 及总噪声
- 噪声中来自环境的部分称为 common-mode noise，一般由电压、接电等不稳定造成，可单独估算并在结果中消除

8" PCB

6" Module

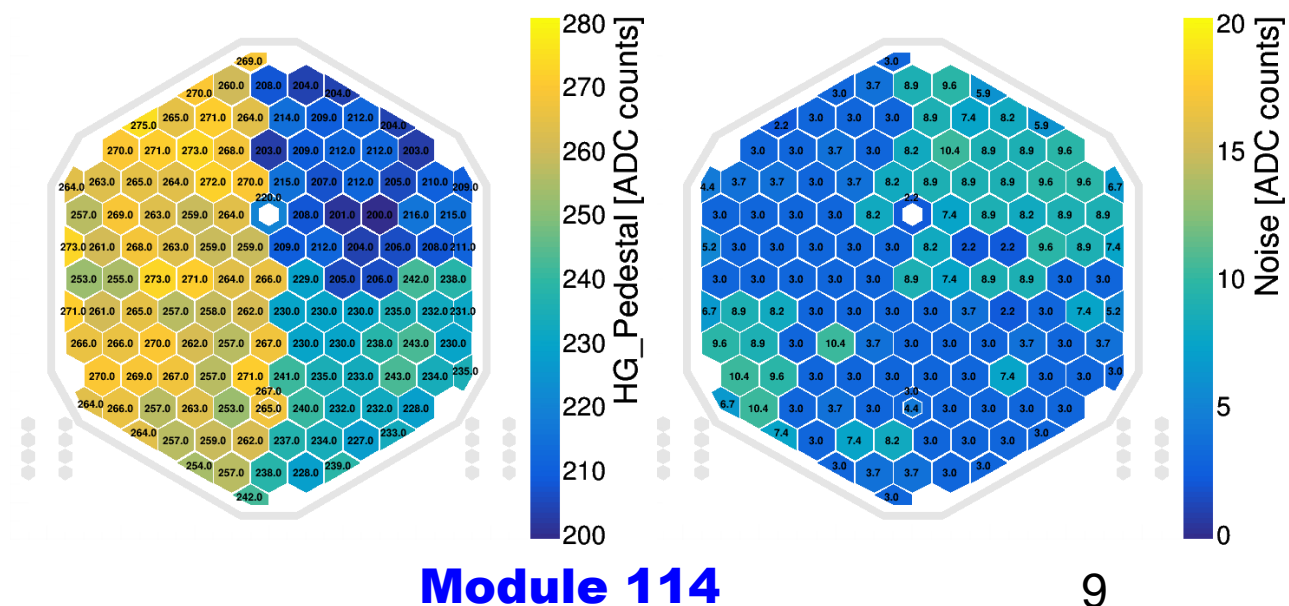
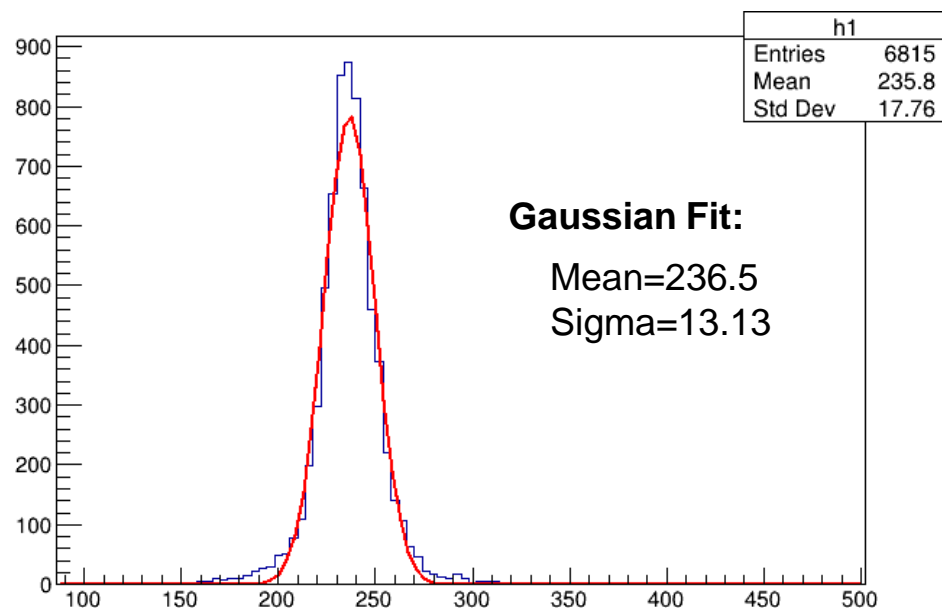
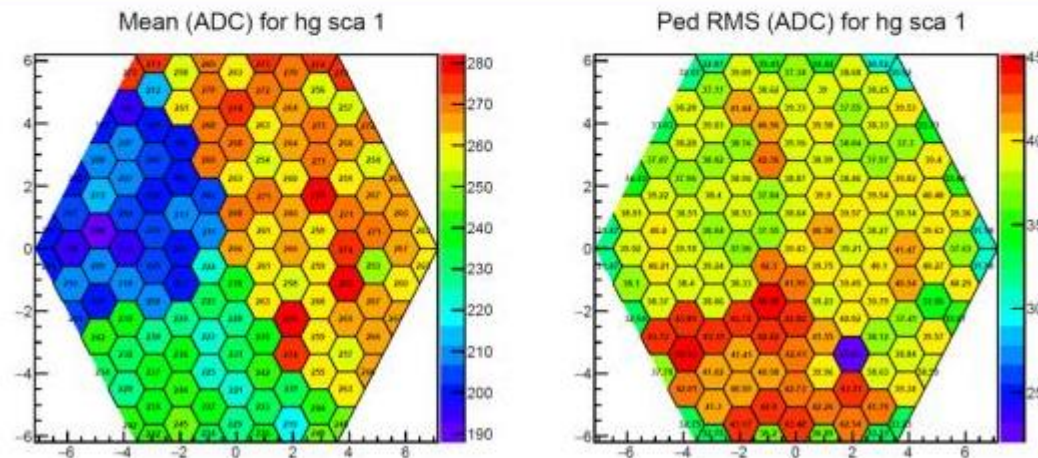


结果分析

Plots from Yubo Li (2019, no BV)

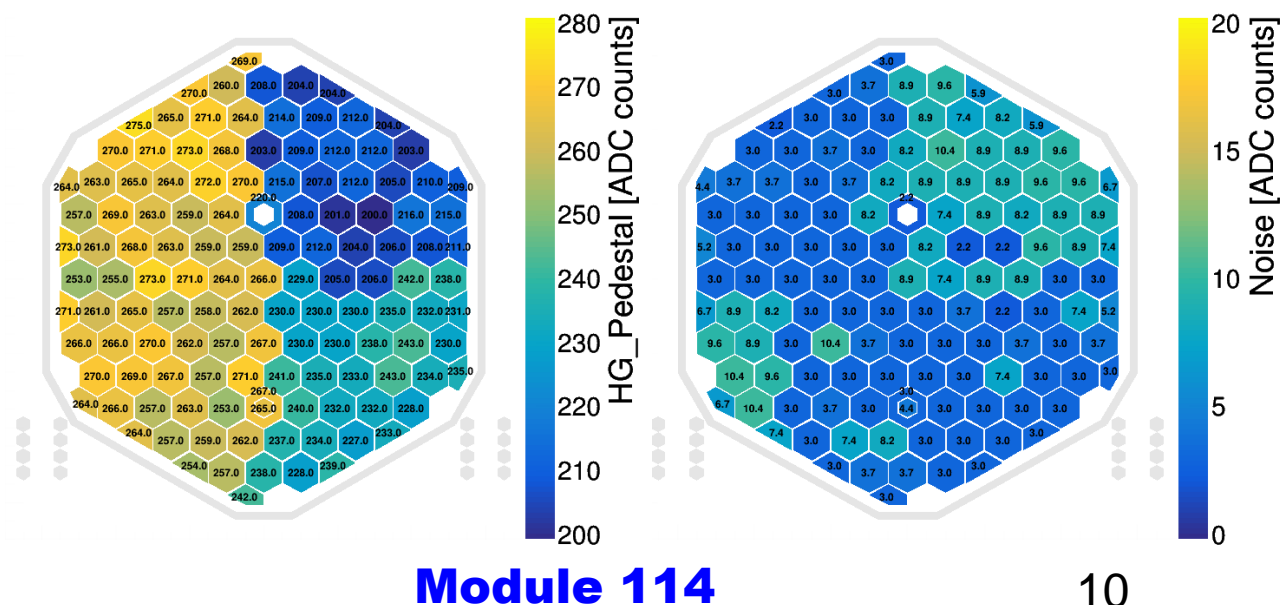
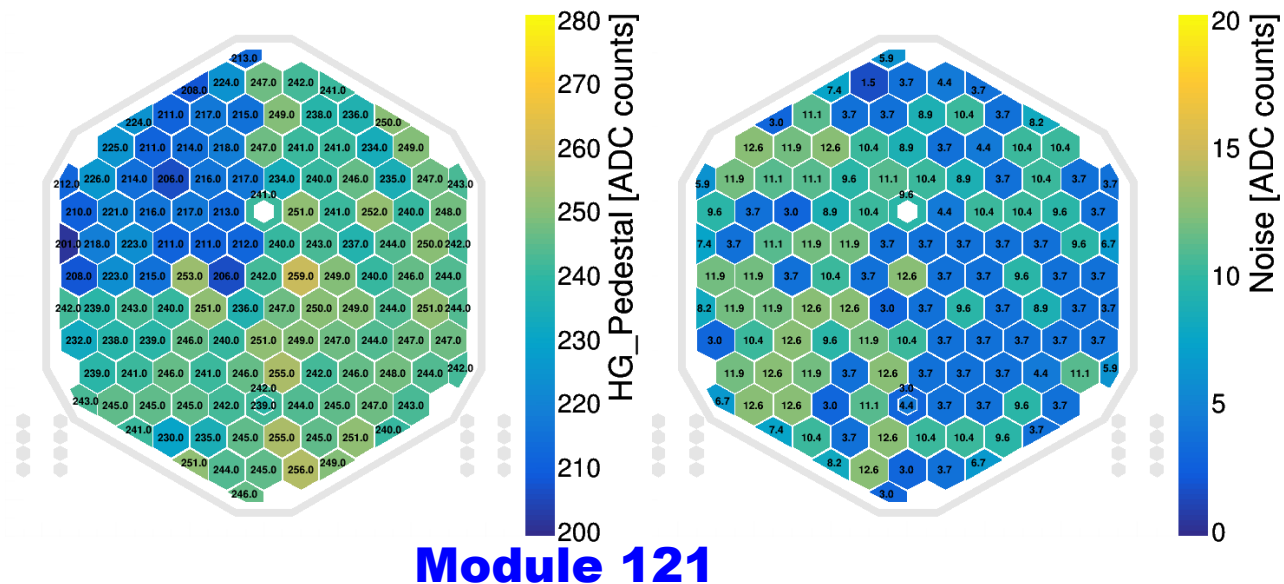
- 8 寸 PCB 测量结果与预期符合
- 6 寸模块测量结果与去年比较
 - Pedestal 数值基本持平 (不同版本的画图软件)
 - Noise 总体降低 (去年结果未加高压, 且计算方式不同, RMS \rightarrow sigma)

Noise test for module Hexaboard



结果分析

- 在两块 6 寸的模块中都发现噪声存在两种情况，HG的噪声分别为约10 ADC 及 ~4 ADC counts (LG中也相似情况)
- 通过对比测量，排除环境因素影响
 - 温度、湿度、遮光、接地等
- 通过比较不同 channel 对信号的响应进行分析
 - 通过宇宙线测试系统获得信号 (可视为MIP信号，但事例率低，且无法针对特定 channel 进行研究)
 - 通过 test-stand DAC 注入特定的电荷获得信号 (可控制输入电荷大小，针对指定 channel)

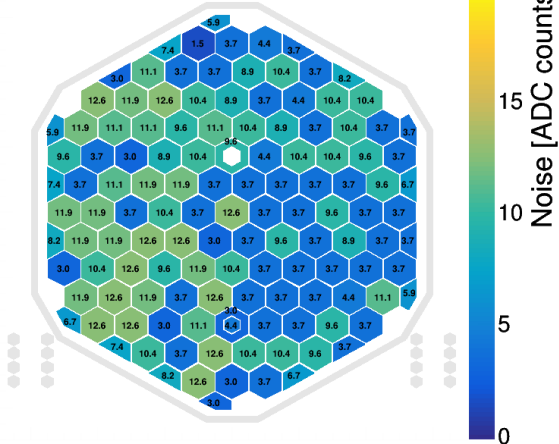


Common-mode subtraction

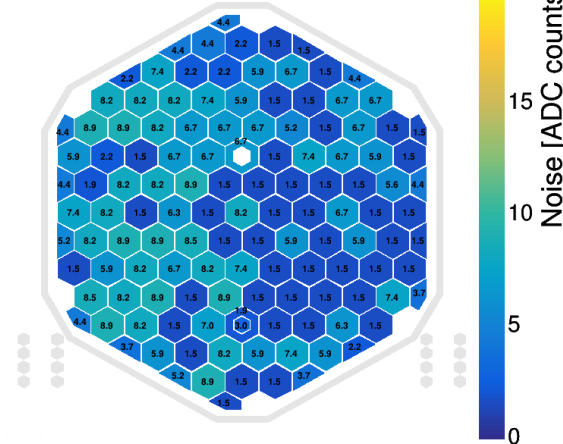
$$correlation = \frac{\overline{ch1 \times ch2} - \overline{ch1} \times \overline{ch2}}{\Delta ch1 \times \Delta ch2}$$

- Common-mode 噪声与 PCB 及电子学内禀噪声不同，会对大量 channel 造成相同/相似的影响
 - 通过研究不同通道、不同 TS 读出的关联研究 CM 噪声的估算方式
 - 同个 module 不同 channel 中关联极大 (0.3~0.9)
 - 但不同 module 之间的无关联
 - 另外，不同 TS 之间存在关联，因为需要分别计算
- ➔ Median of the ADC counts of the full cells in the module

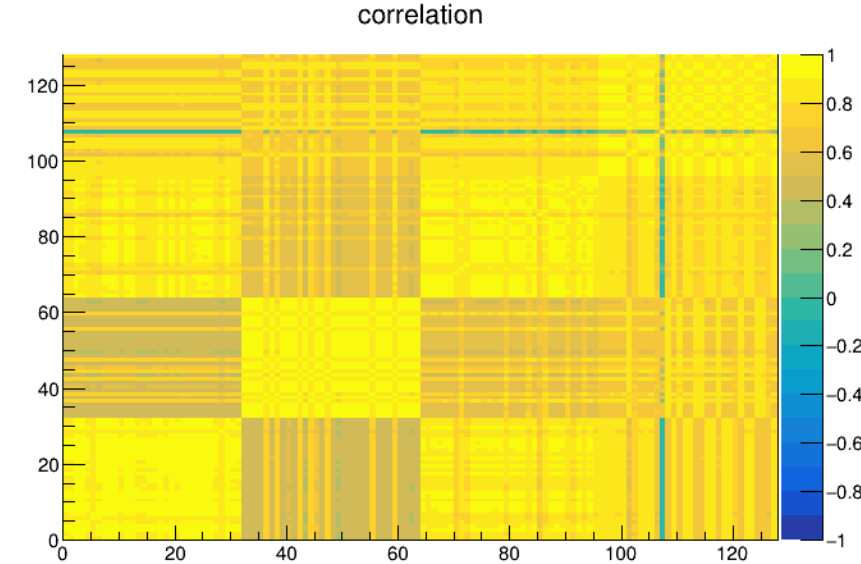
Before CM subtraction



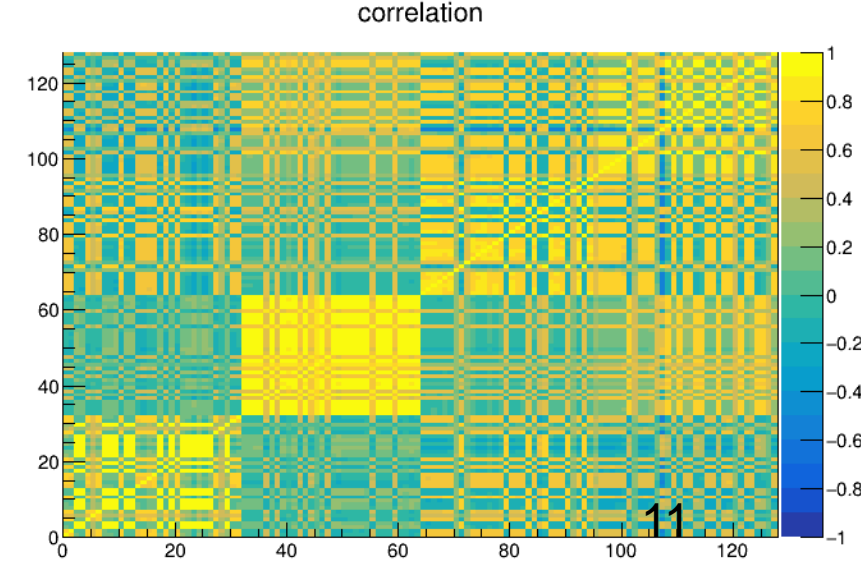
After CM subtraction



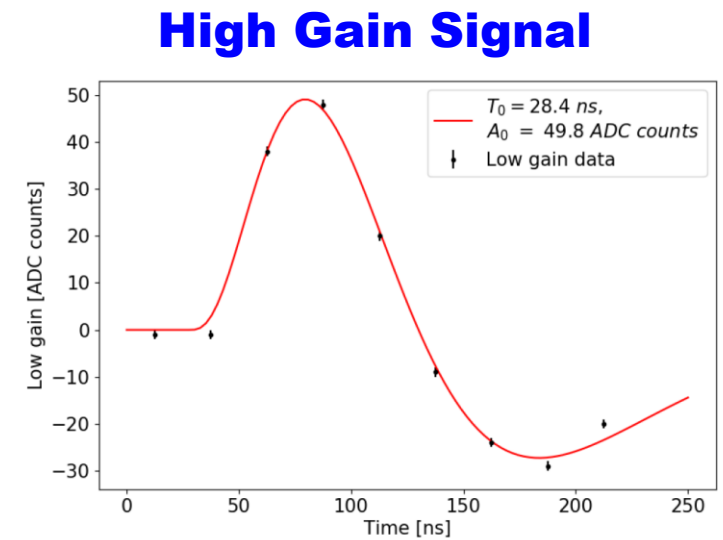
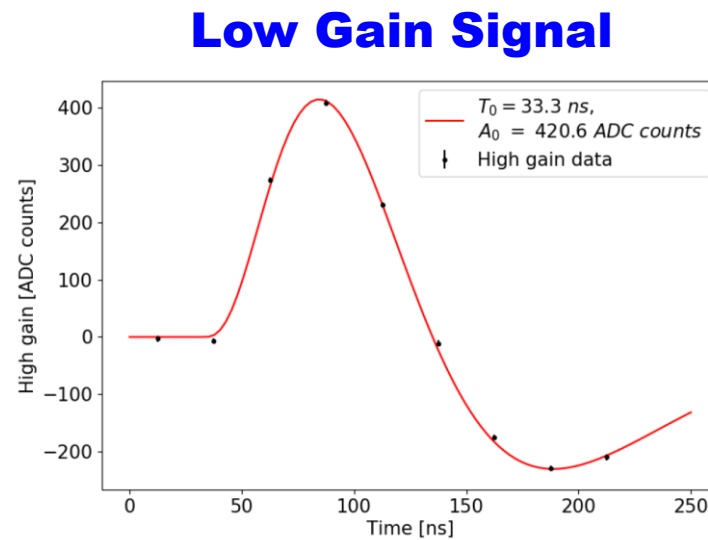
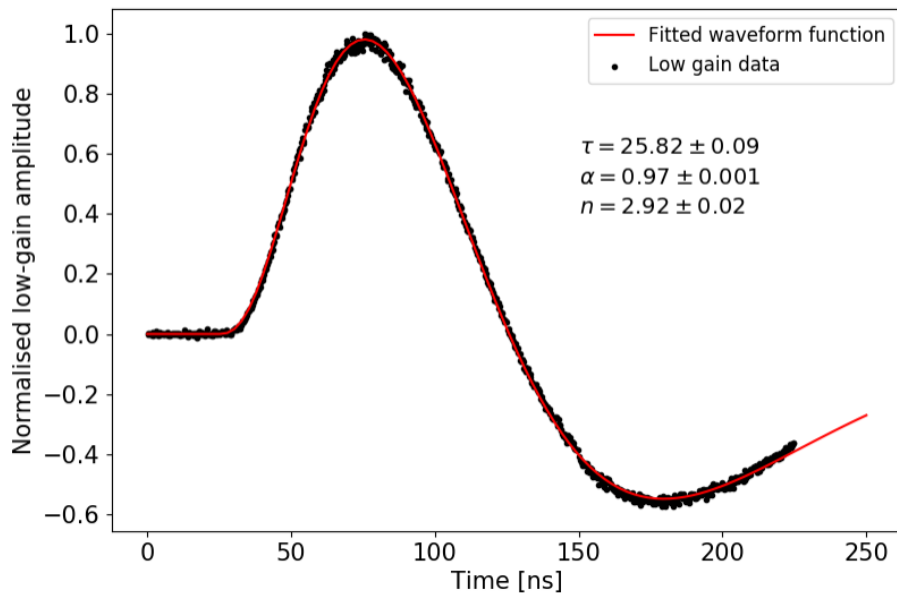
Before CM subtraction



After CM subtraction



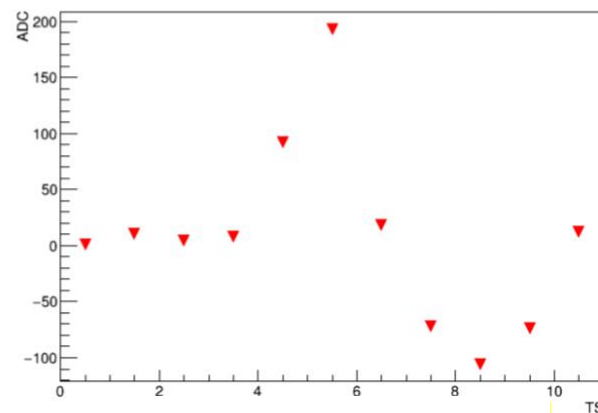
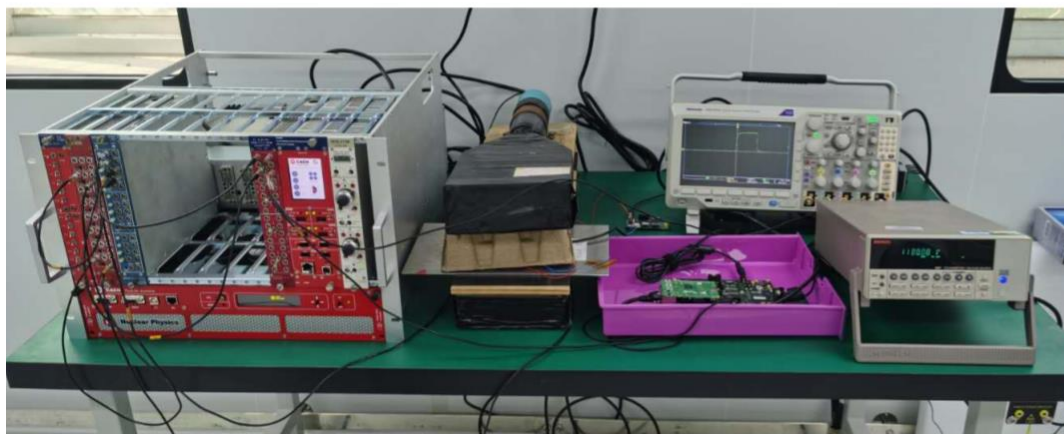
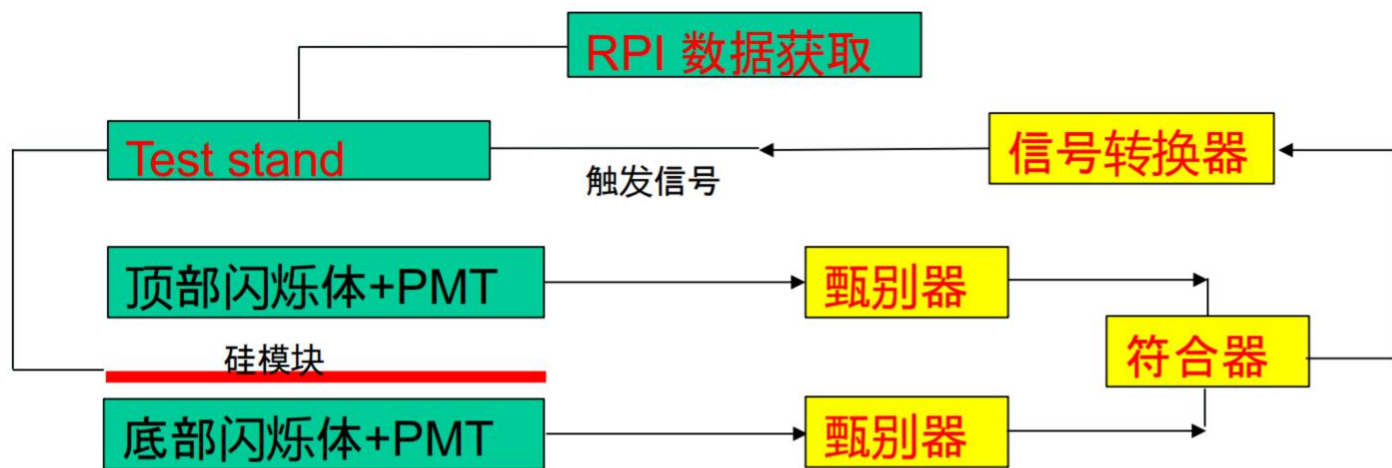
- 由Skiroc2-CMS ASIC 得到的 HG 及 LG 输出信号，在减除 pedestal 及 CM noise 之后可得到如下波形，通过拟合可得到信号大小 (A_0)
 - 对每个事例、每个 channel 都进行拟合过于耗时
 - 可进行一定的针对性的初选，对符合条件的 hit 进行重建
 - 信号峰值一般位于第三到第四个 TS，测试工作中也可直接使用第四个 TS



$$S(t) = \begin{cases} A_0 \left[\left(\frac{t-t_0}{\tau} \right)^n - \frac{1}{n+1} \left(\frac{t-t_0}{\tau} \right)^{n+1} \right] e^{-\alpha(t-t_0)/\tau} & \text{if } t > t_0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

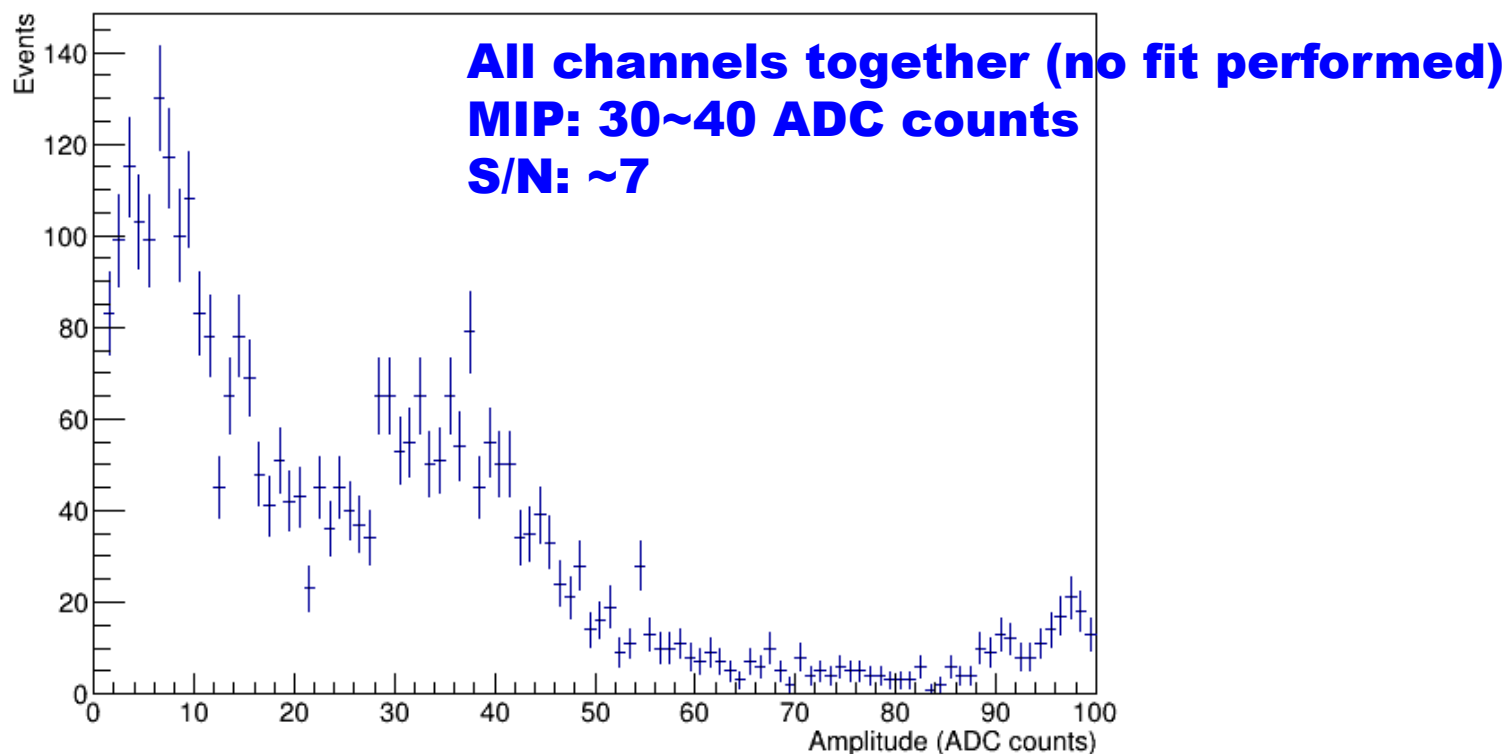
宇宙线测试系统

- 利用宇宙线作为外部触发，搭建高粒度量能器硅模块宇宙线测试系统，用于研究硅模块的性能（MIP 刻度，Gain-linearization 刻度）
 - 事例率过低 (~1 Hz per module, 128 channels)



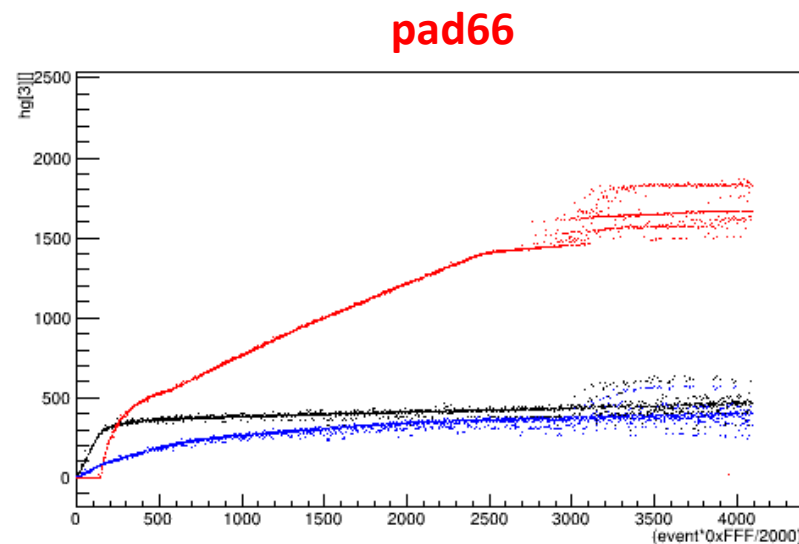
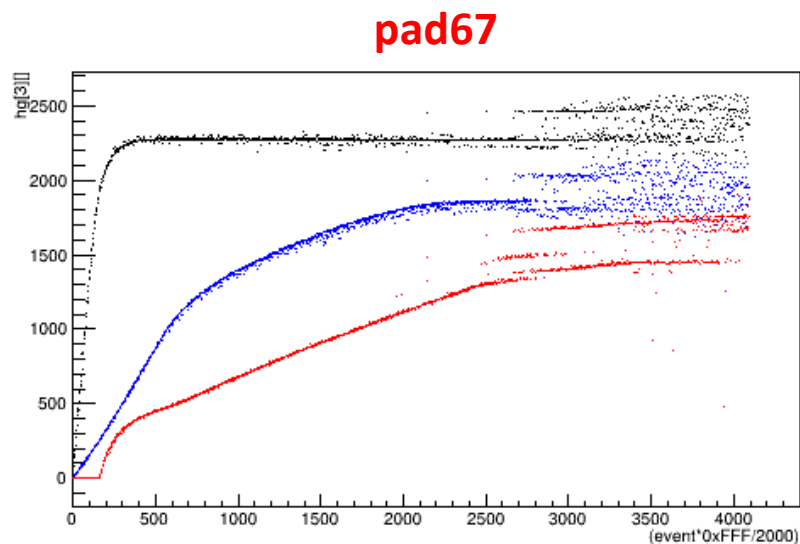
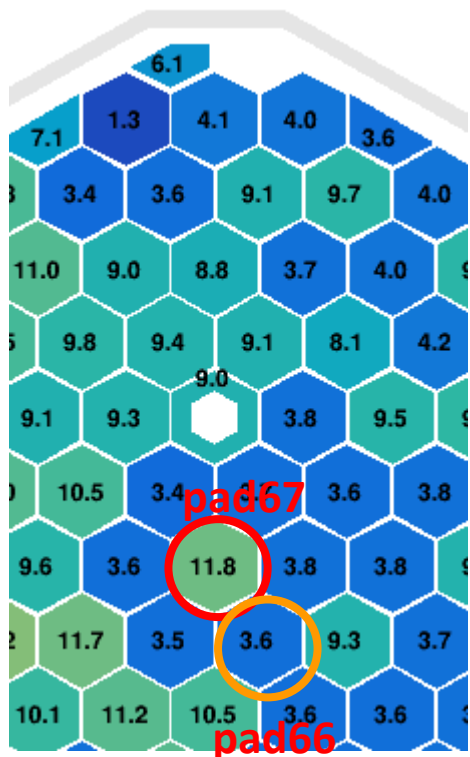
MIP 刻度

- 宇宙线测试系统获取的信号多数为正入射的高能量 muon 粒子，可用于进行 MIP 刻度
- 存在问题
 - 单 channel 事例率过低
 - 无法精确定位到具体 channel 进行刻度，难以进行事例选择



Test-stand 电荷注入

- 用于比较分析不同输出信号对特定信号的结果响应
- TOT 在两类 channel 中均响应正常，HG 及 LG 饱和电量接近，但是输出数值差距较大
 - 噪声较小的 channel 中输出信号过小，S/N 过小
 - 初步判断为固件安装过程出现 missing bit 的问题



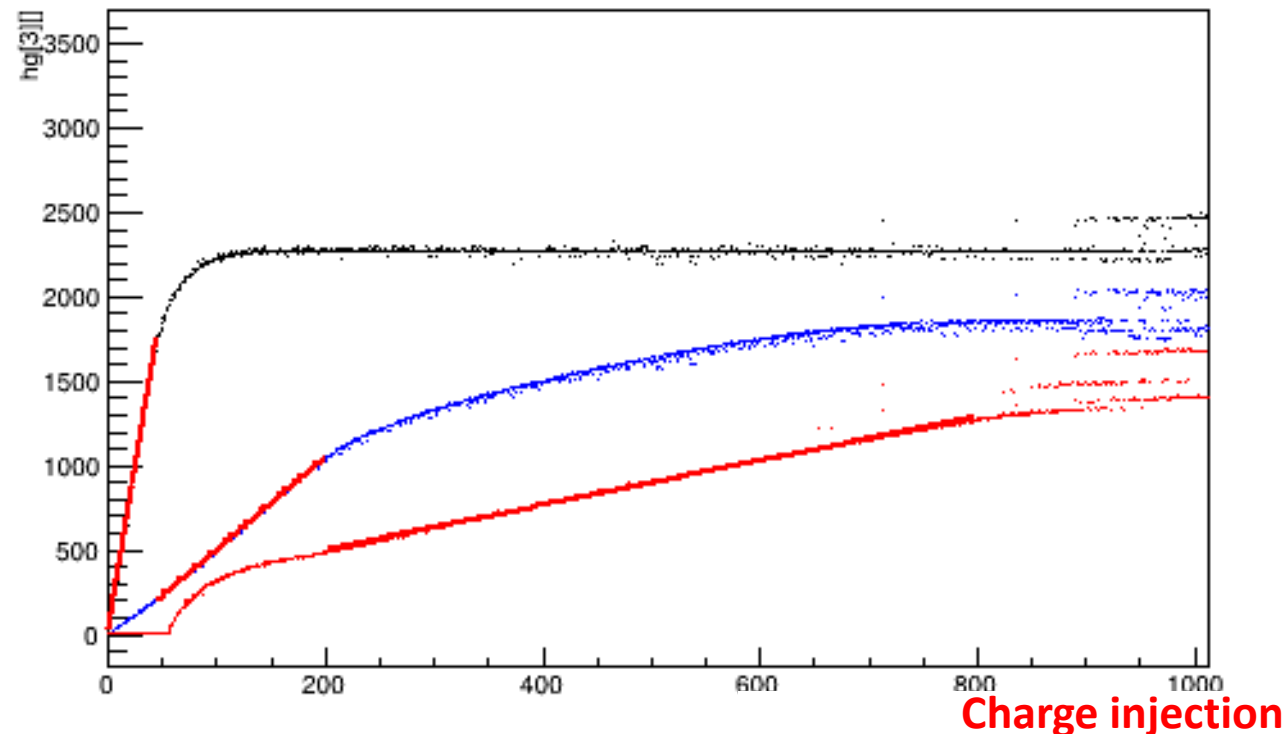
Test-stand 电荷注入

➤ 用于不同输出信号之间的线性刻度

- 通过拟合直线方程，得到不同输出信号对输入电荷的系数及饱和阈值 (测量值与拟合值相差 >3% 时认为饱和)
- 输入电荷可通过与 HG 的线性系数以及由 HG 得到的 MIP 刻度系数，转化为 MIP 单位

$$E = \begin{cases} E_{HG} = C_{MIP,HG} \cdot A_{0,HG} & , \text{ if } A_{0,HG} < HG_{sat} \\ E_{LG} = C_{MIP,LG} \cdot A_{0,LG} & , \text{ if } A_{0,HG} > HG_{sat} \text{ and } A_{0,LG} < LG_{sat} \\ E_{ToT} & \end{cases}$$

pad67



- 在 高能所 初步完成单模块测试工作
 - Firmware 安装, test-stand 取数程序安装升级等
 - IV 测试, pedestal & noise, 宇宙线测试...
 - <http://twiki.ihep.ac.cn/twiki/view/CMS/ModuleTesting>
- 测试中发现两块模块的部分 channel 中 HG 及 LG 的输出比期望值小
 - 判断为固件安装过程出现 missing bit 的问题
 - 尝试重新编程, 或联系 CERN 重新邮寄新的模块进行测试

The End