

# 用于CEE中MWDC探测器的 前端读出芯片的研制

报告人：蒲天磊

千奕、杨鸣宇、敬雅冉、孙志坤、陆伟健

中科院近物所

NME  
2021

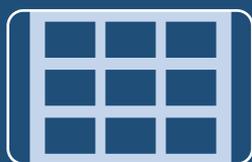
# 报告内容



项目背景



电子学架构



芯片设计



实验室测试



探测器测试



# 项目背景

## 低温高密核物质测量谱仪

(CSR External-target Experiment)

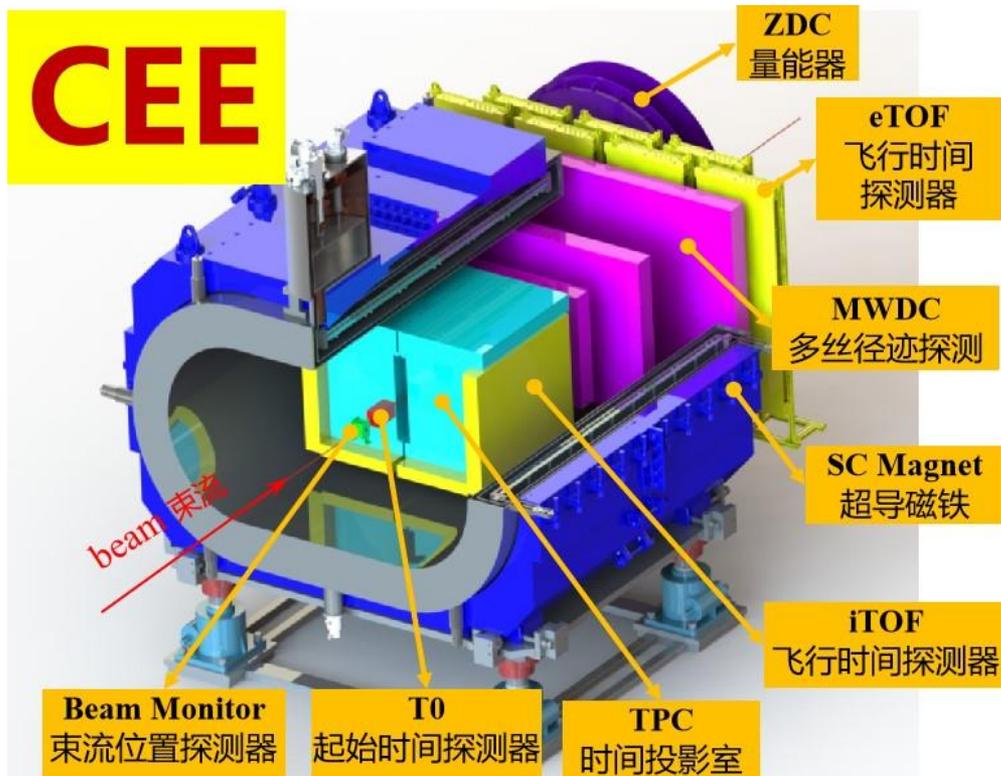


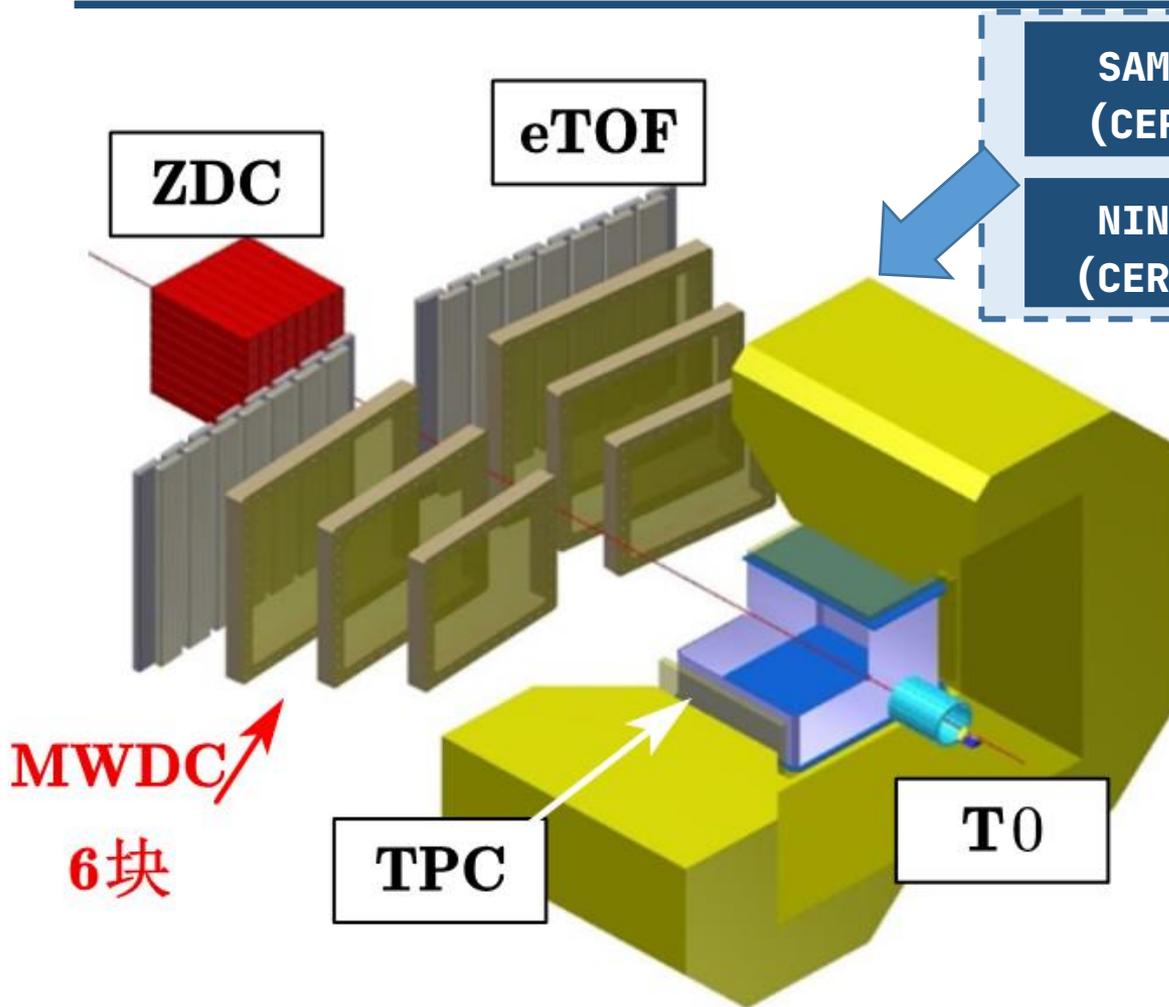
图.1 CEE各子系统示意图



图.2 项目承担单位

- 重离子碰撞实验，冷密核物质性，唯一方法
- 我国第一台 GeV能区 自主研制的
- 多家单位共同研制（排名不分先后）
- 大量先进技术：**新一代数据获取系统**、零度角量能器的硅光电倍增管读出电子学
- 促进实验研究，提升地位，推动研究进展、
- 开发的微像素和快电子学技术突破技术禁运壁垒，培养相应人才队伍。

# 项目背景：探测器需求



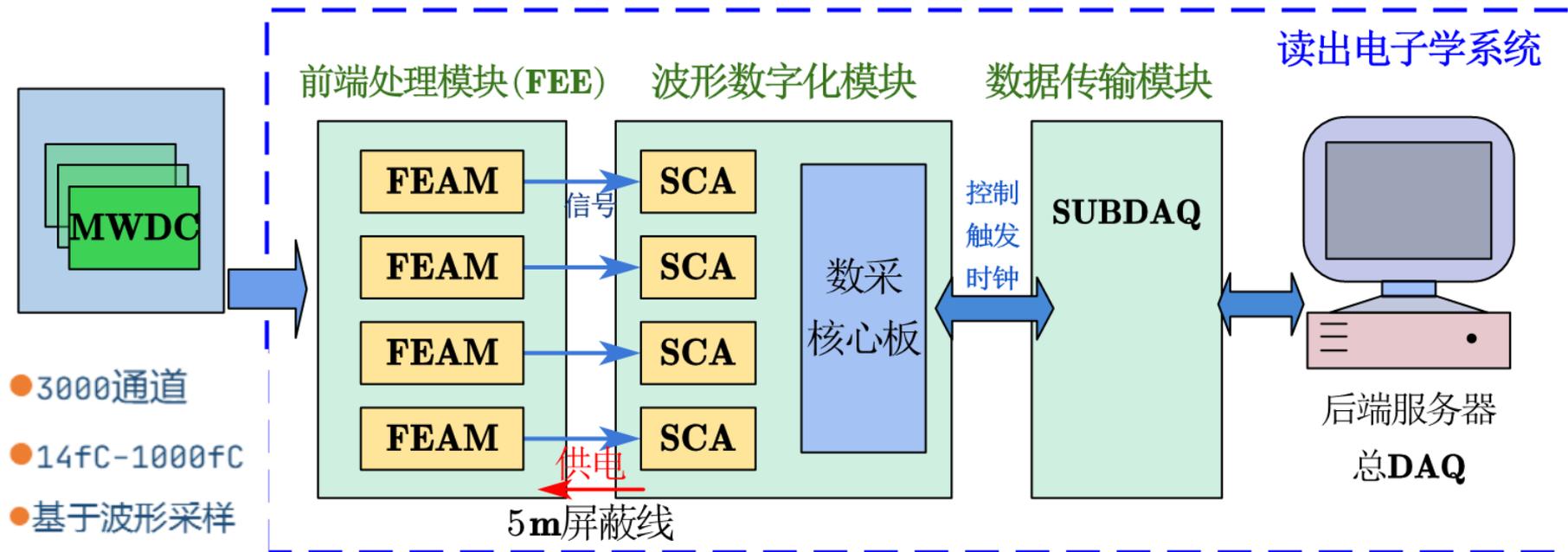
SAMPA (CERN)	TopMetal (华师)	
NINO (CERN)	SCA (清华)	FEAM (近物所)

图.4 系统中的ASIC

- 径迹探测器：
  - TPC, 6块MWDC
  - 测量轻带电粒子三维径迹
  - 鉴别带电粒子

图.3 子系统示意图

# MWDC电子学读出系统架构



ASIC

电路板

图.5 电子学系统架构

- FEAM ( Front-End ASIC for MWDC)
- CMOS 0.35um
- MPW 2015 → 工程批 2020



图.6 FEE板及FEAM芯片

# 芯片设计：FEAM芯片简介

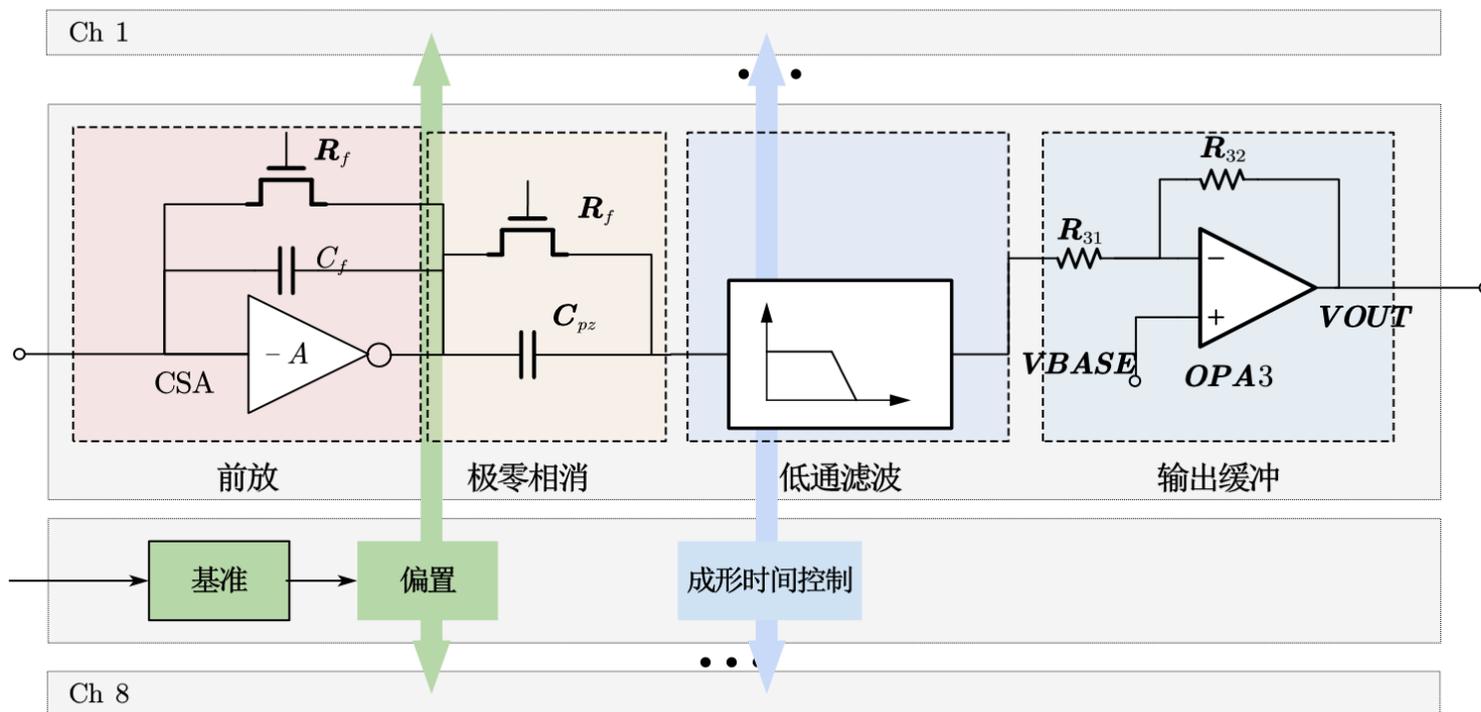


图. 7 FEAM芯片的结构

- 动态范围：1pC
- 增益：1mV/fC
- 达峰时间：三档 (80ns、160ns、1us)
- AB类增强输出级

# 芯片设计：前放低噪声设计

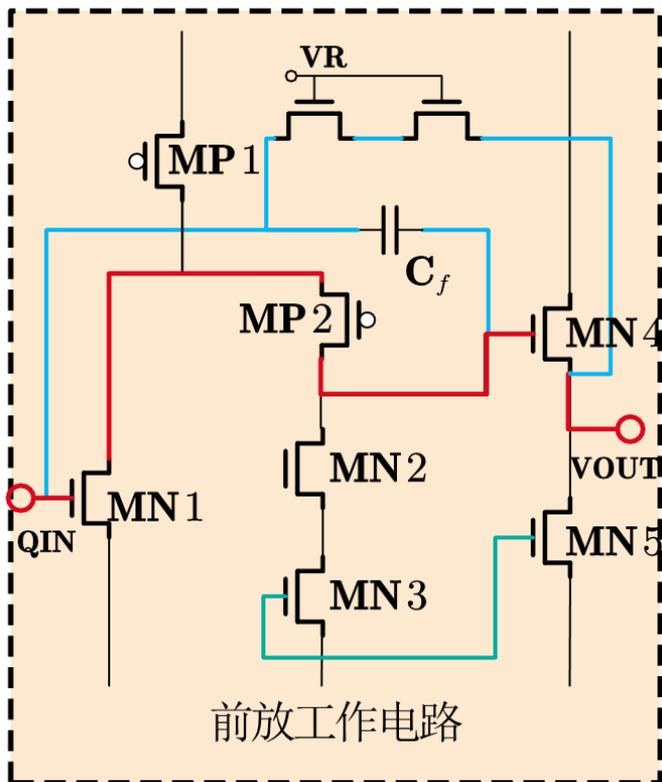


图. 8 前放的电路结构

- 计数率与反馈阻值冲突

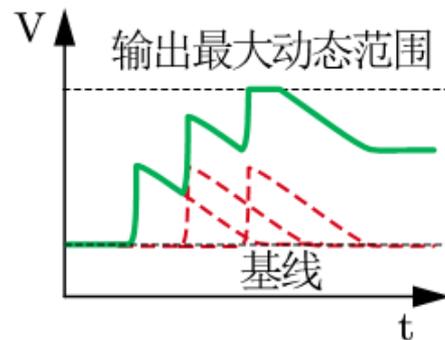
- 功耗与增加 $I_{MP1}$ 冲突

- 亚阈值区器件

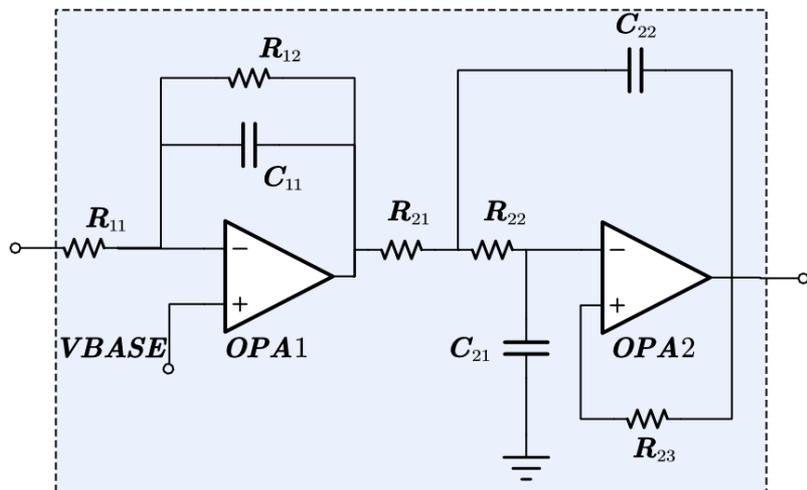
- 噪声尽量集中于MN1

- 匹配探测器电容

- $C_{in} = 1/3 \sim 1 * (C_f + C_d)$



# 芯片设计：主放滤波器设计



低通滤波

图. 9 低通滤波器设计

- 三阶低通滤波器
- 5k低通滤波器、变电阻

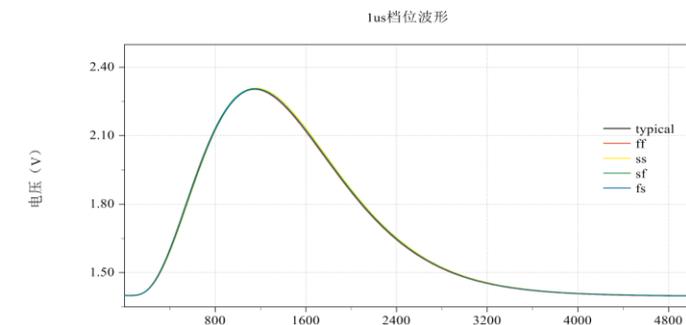
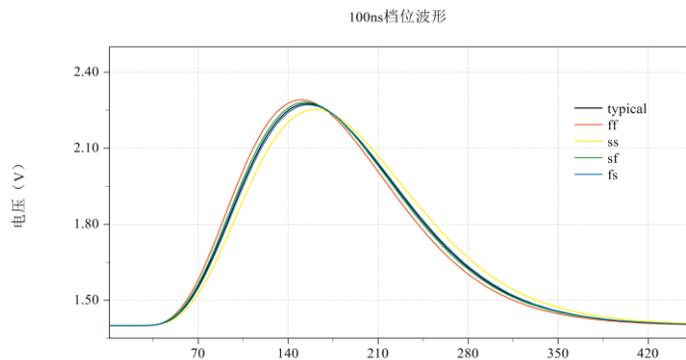
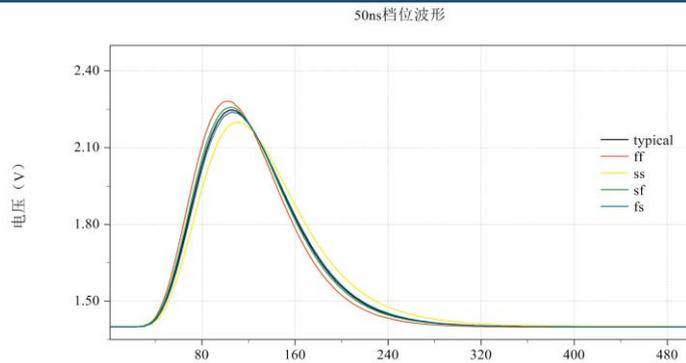
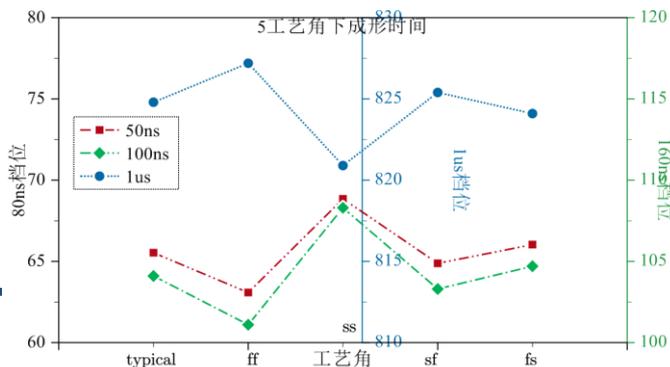
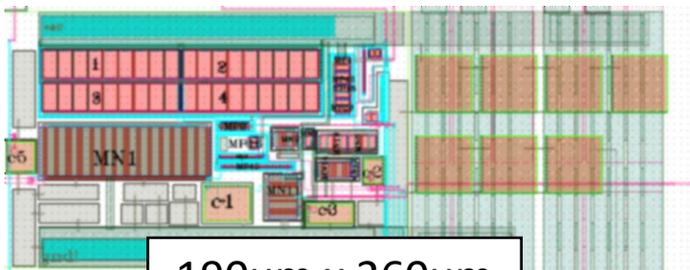


图. 10 不同工艺角下波形

# 芯片设计：后仿真结果

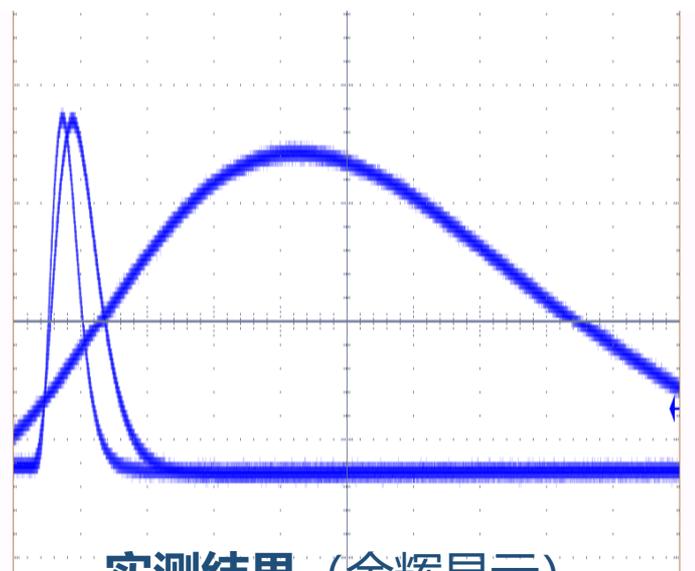
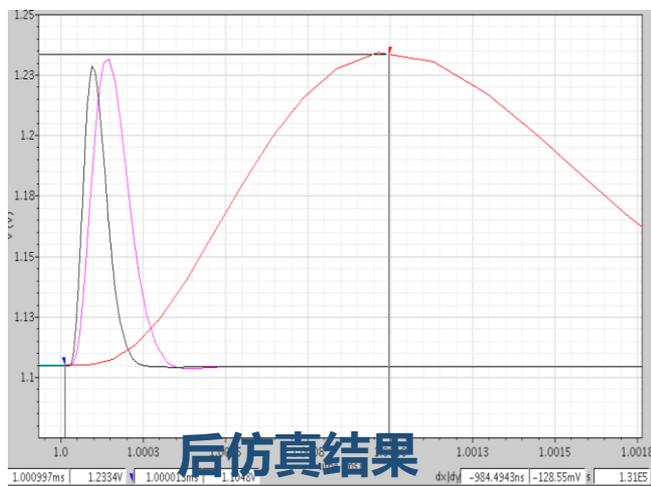


100um x 1500um



190um x 260um

图.11 前放主放最终版图



实测结果 (余辉显示)

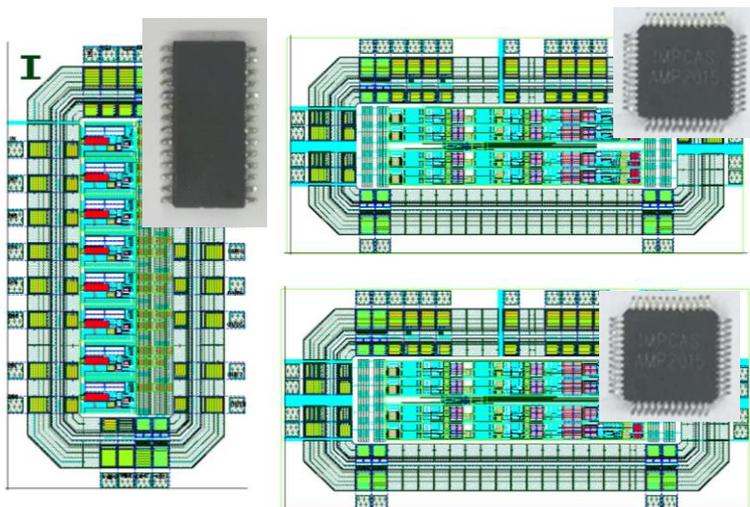
图.12 三档成形时间后仿真与实测结果

# 芯片设计：版图、封装整合

- 整合核心单元
- 改变封装：减小封装尺寸、优化信号管脚间距
- 减小PCB占用面积

SSOP28(e=1.5)  
7mm\*15mm

LQFP48 e=0.5  
9\*9 mm



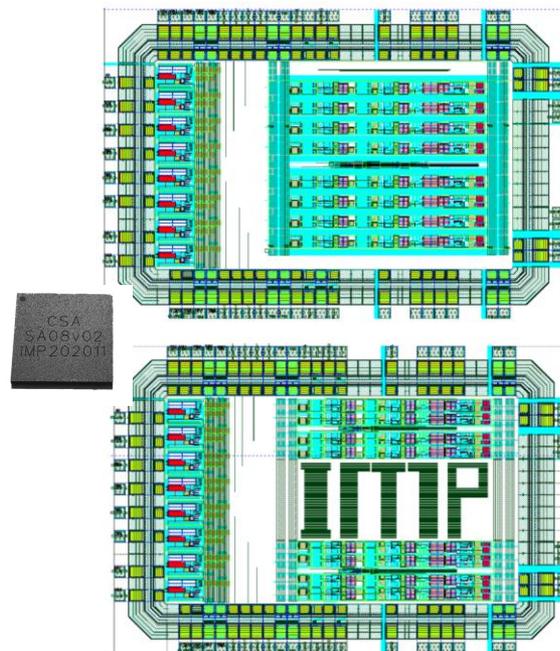
CSA2015

SA2015

工程批流片  
整合



QFN88L 2\*e=0.8  
7mm\*7mm



FEAM 2020

图. 13 工程批芯片的版图整合

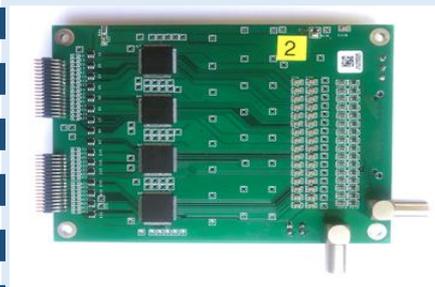
# 芯片设计：测试PCB



## ➤ 性能测试板

- V1.0
- 120mm\*160mm
- 6个CSA、8个 shaper
- 30cm的双绞线

2015芯片



- V2.0
- 80mm\*110mm
- 连接器直连



- V2.1
- 10mm\*110mm
- 连接器直连

2020芯片

图.14 测试板批次

# 实验室测试：能量分辨

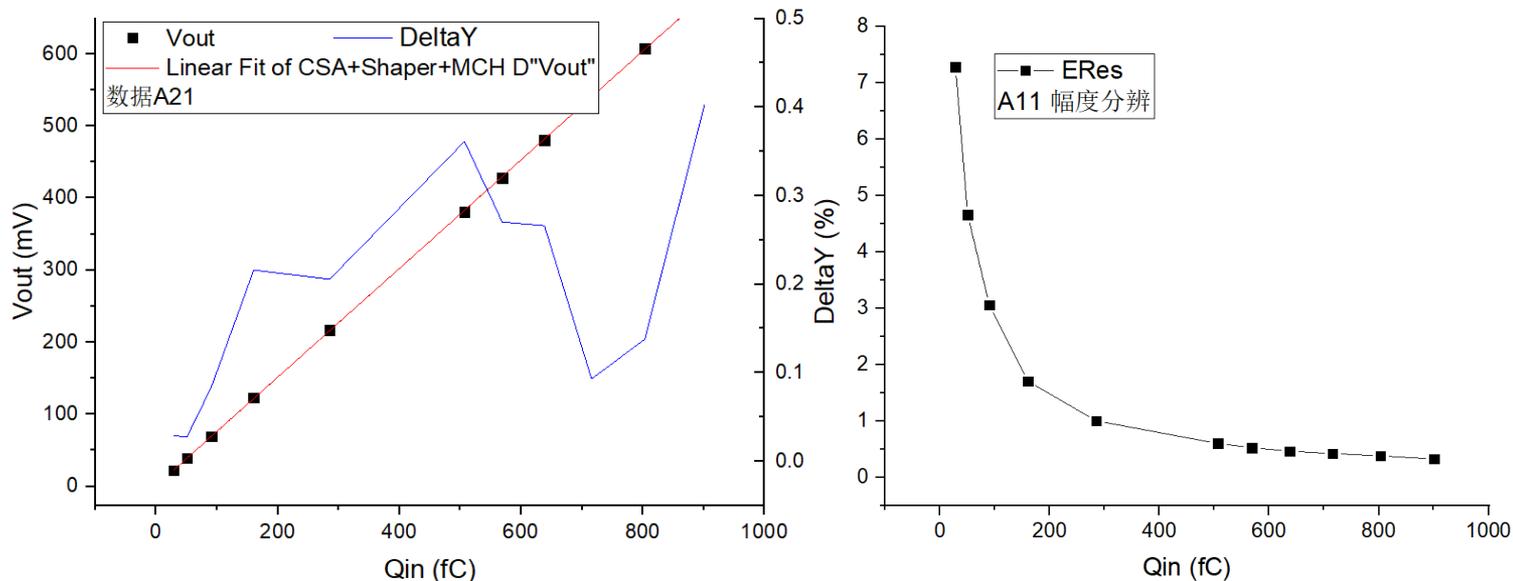
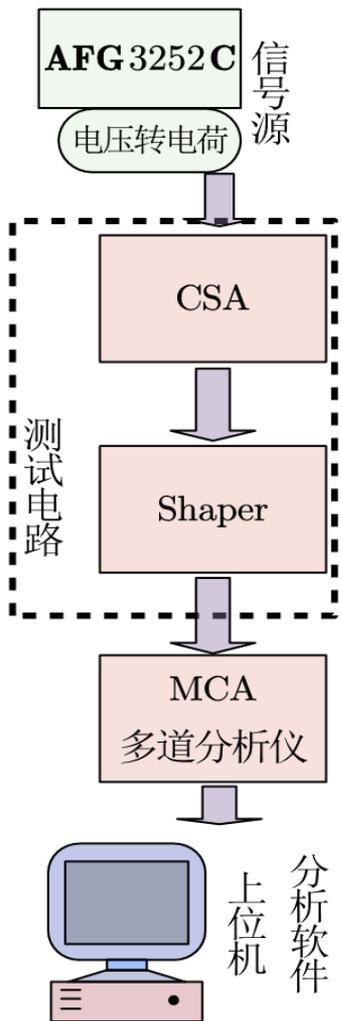


图.15 相对能量分辨

- 实验室测试 (前端)
- 动态范围满足1pC
- 积分非线性小于0.4%
- 能量分辨 好于 10%@28fC

# 实验室测试：动态范围与线性

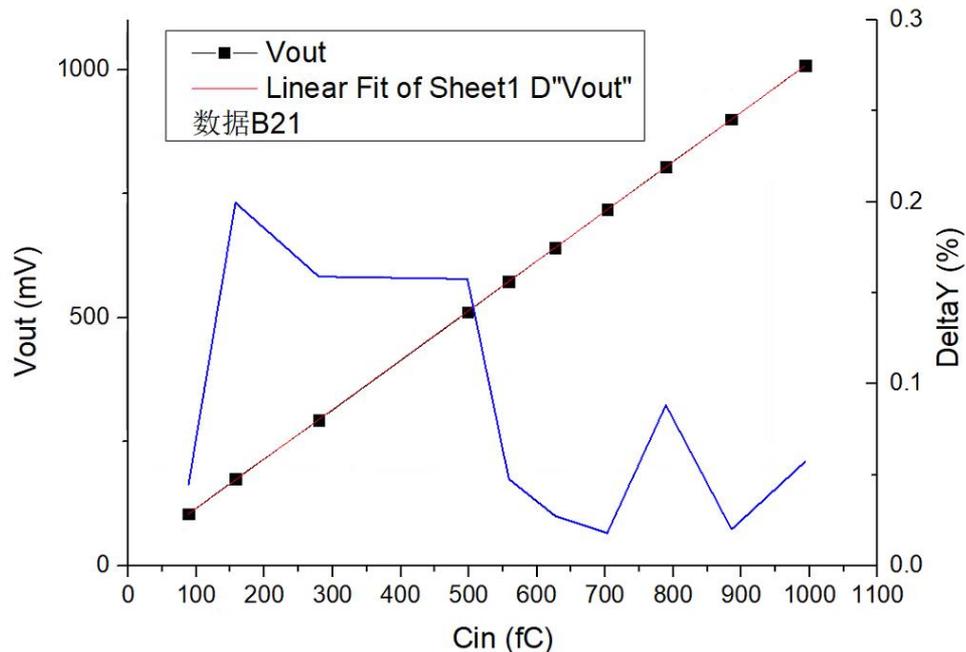
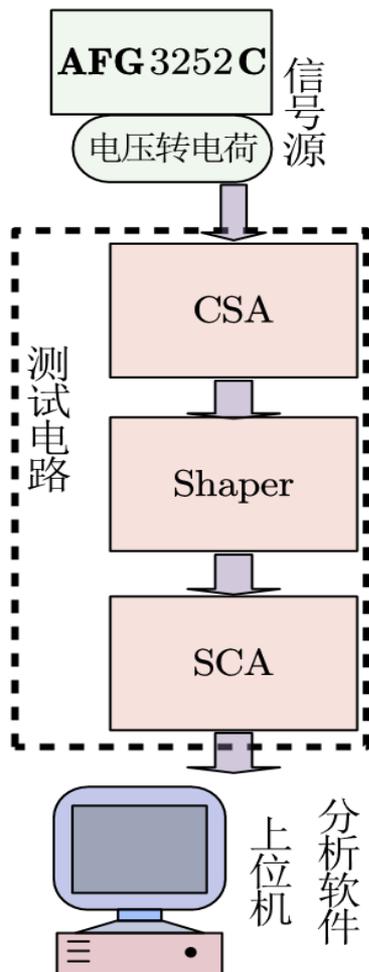


图. 16 动态范围与线性测试结果

- 实验室测试 (前端+SCA)
- 动态范围满足1pC
- 积分非线性小于0.3%

# 实验室测试：长线驱动能力

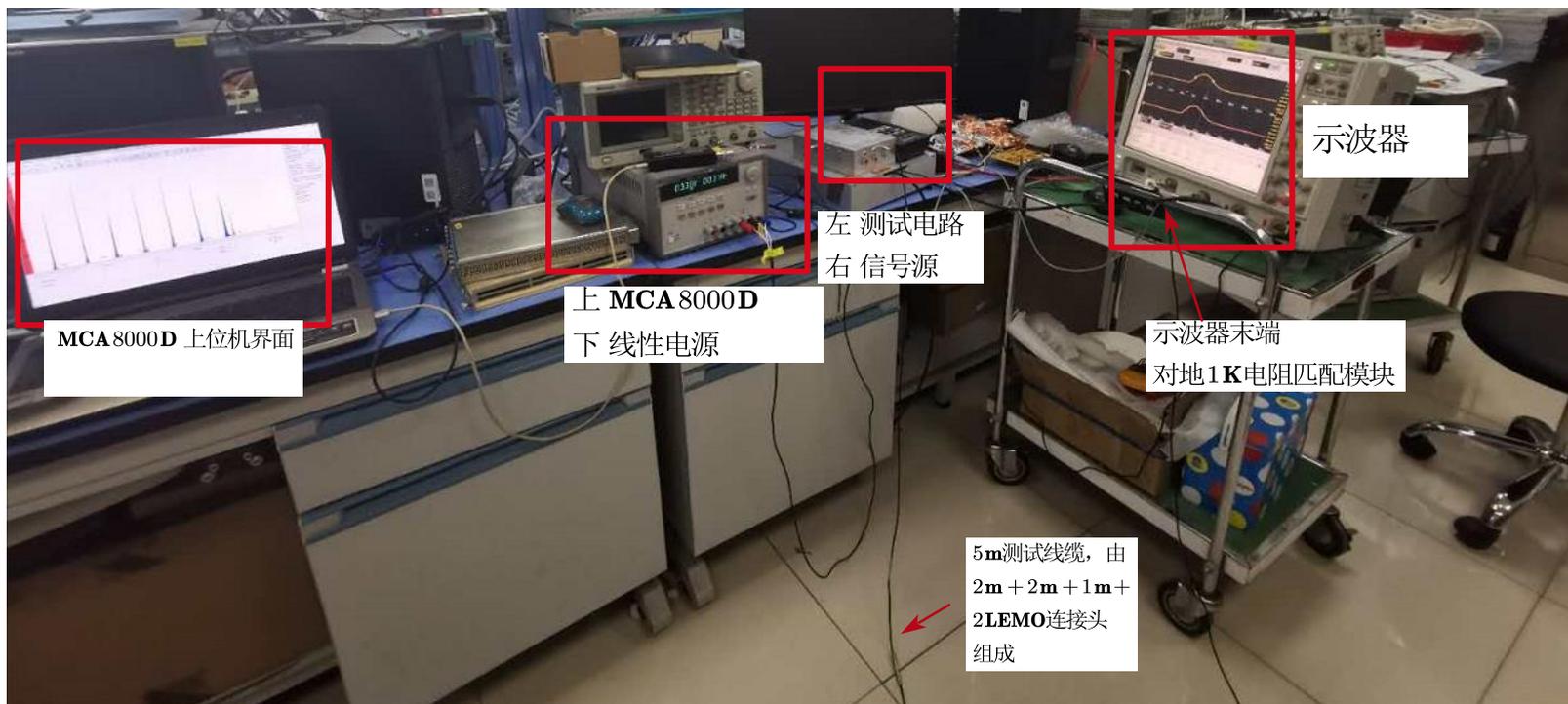
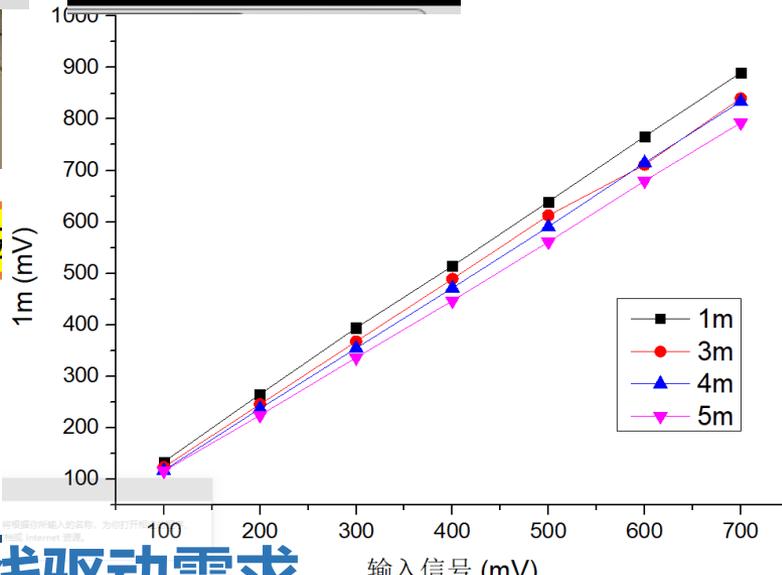
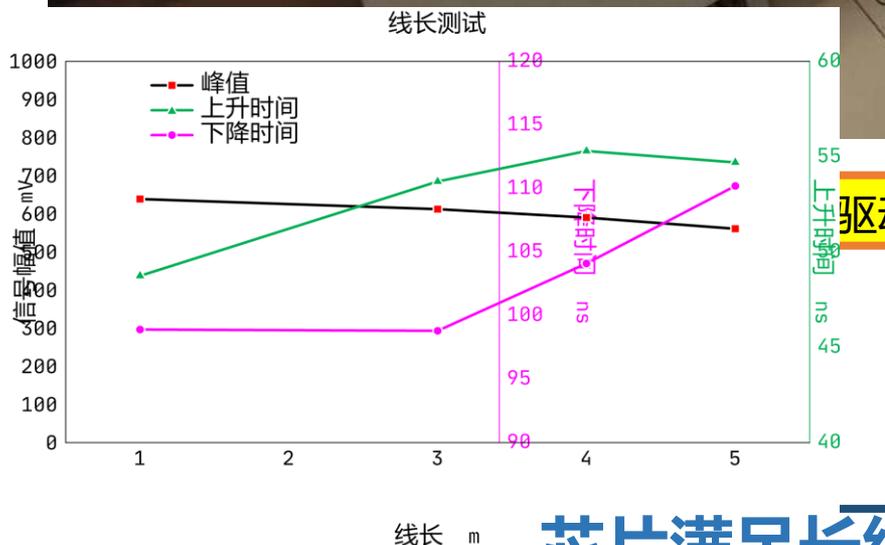
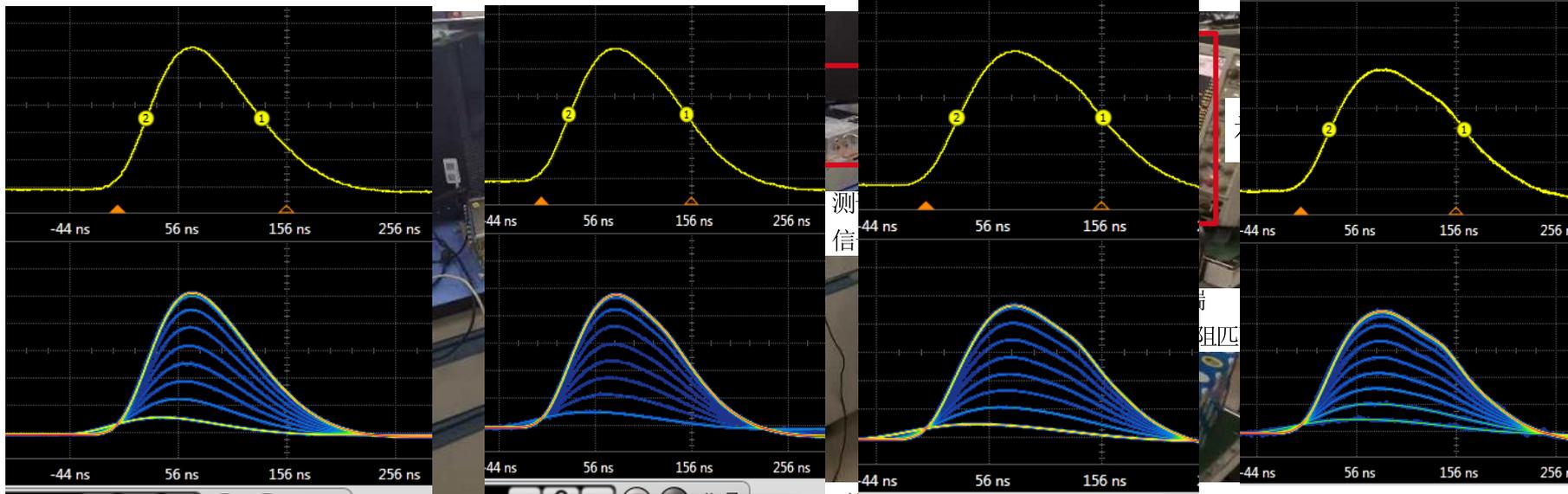


图. 17 长线驱动能力测试环境

# 实验室测试：长线驱动能力



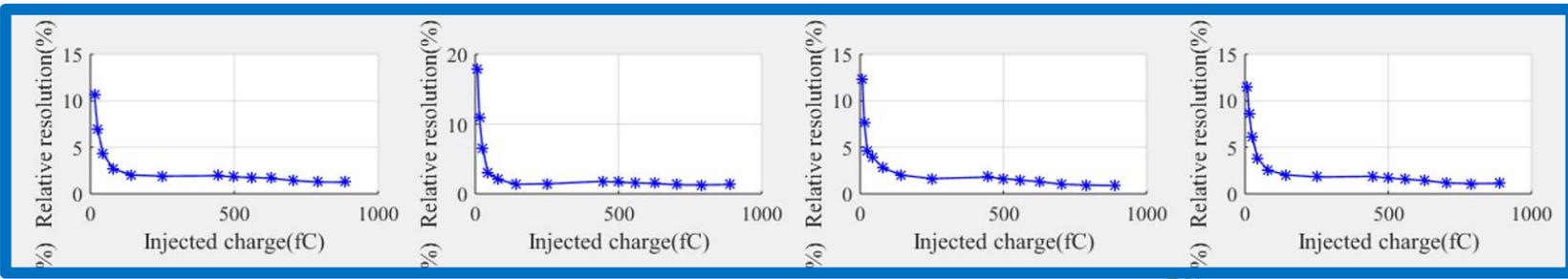
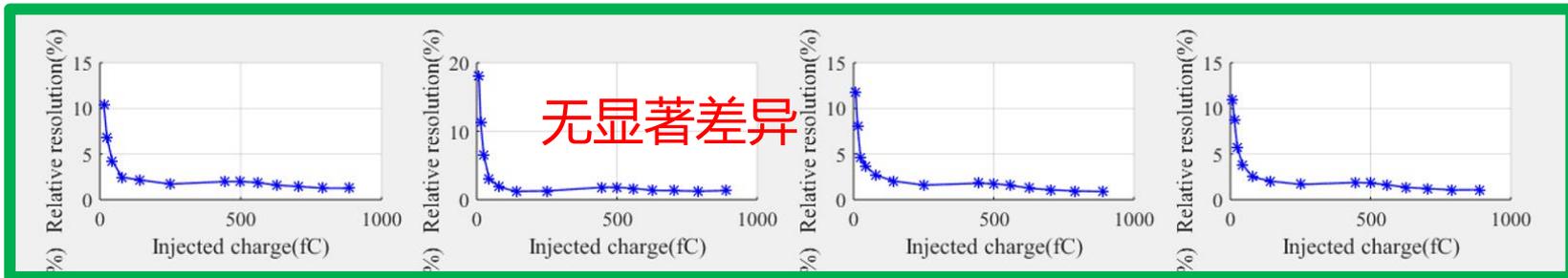
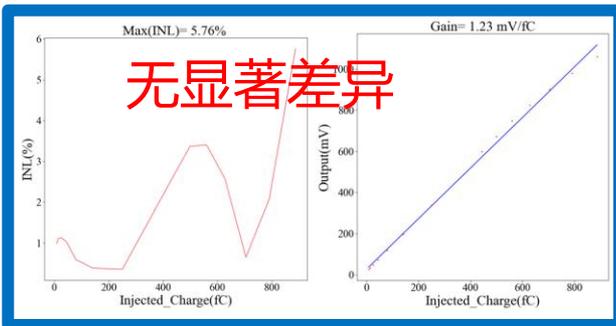
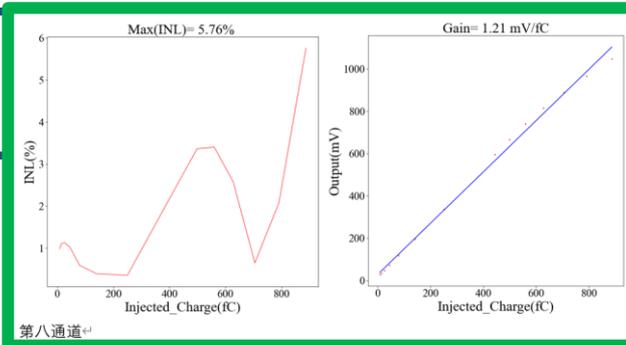
芯片满足长线驱动需求

# 实验室测试：磁场测试

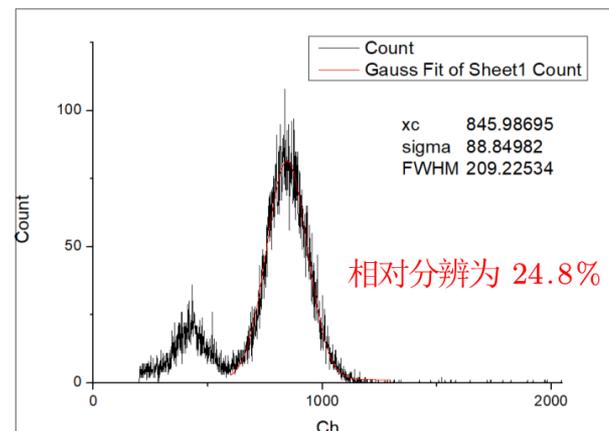
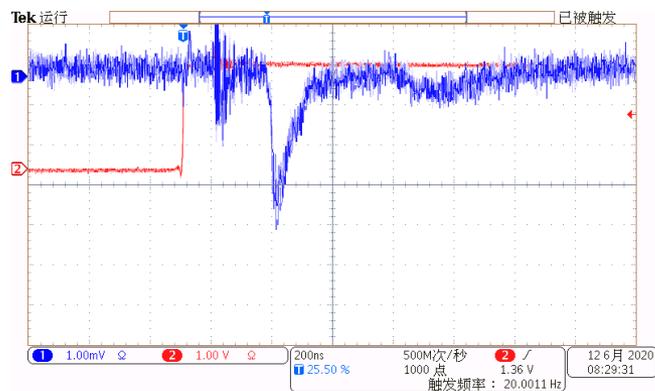
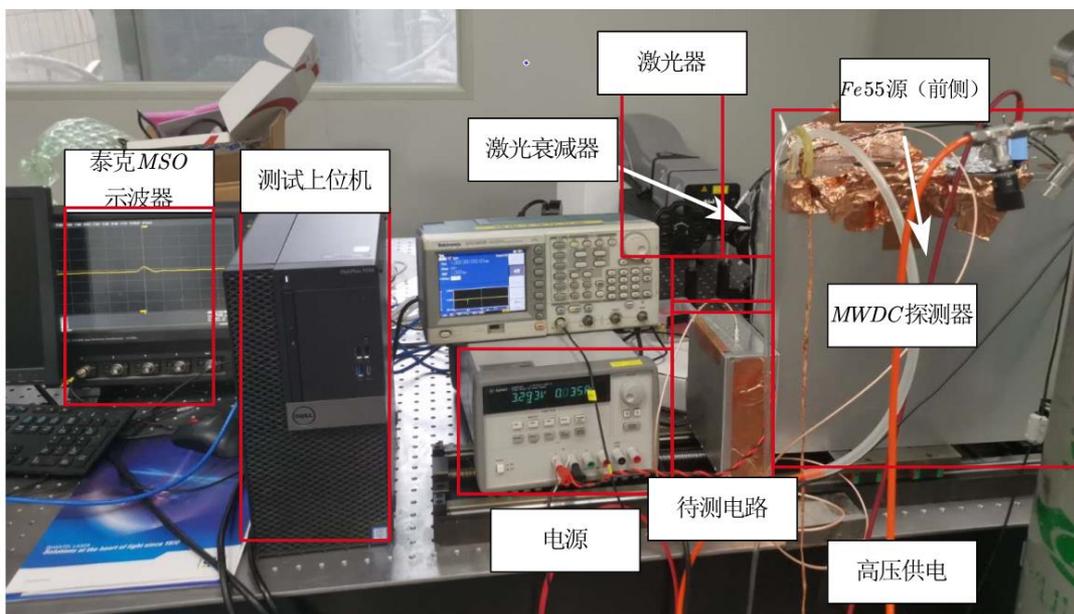
磁场强度0.5T



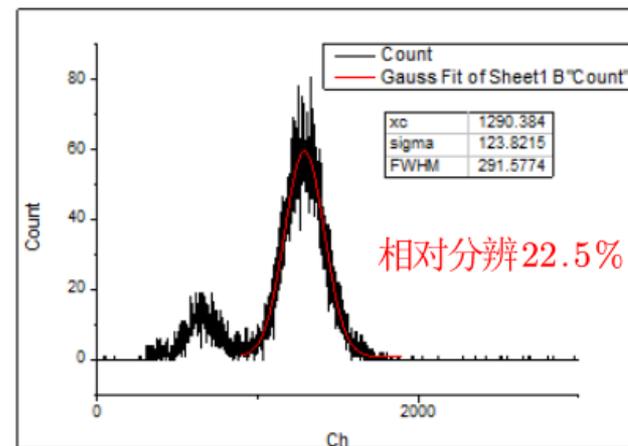
FEAR+SCA



# 探测器测试



商用插件: 142PC + 572A + MCA800D



CSA + Shaper + MCA 8000 D

图. MWDC探测器测试

性能优于 Ortec 商用插件

---

# 小结

---

- FEAM 芯片于2020年11月进行工程批量产
  - 基于2015版本，在集成度上进行优化
- 量产后芯片和原始芯片各项功能一致
- 测试结果表明，FEAM 的性能优于商用Ortec插件
- 满足CEE中MWDC探测器的读出需求

---

谢谢

