
气体探测器读出芯片设计

中国科学院 近代物理研究所

核电子学组

苏弘、干奕、蒲天磊、张新、贾振华

报告人：蒲天磊



目录

- 一. 用于PPAC的前端读出芯片设计
- 二. 用于分条电离室的读出芯片设计
- 三. 已有工作基础
- 四. 总结与展望

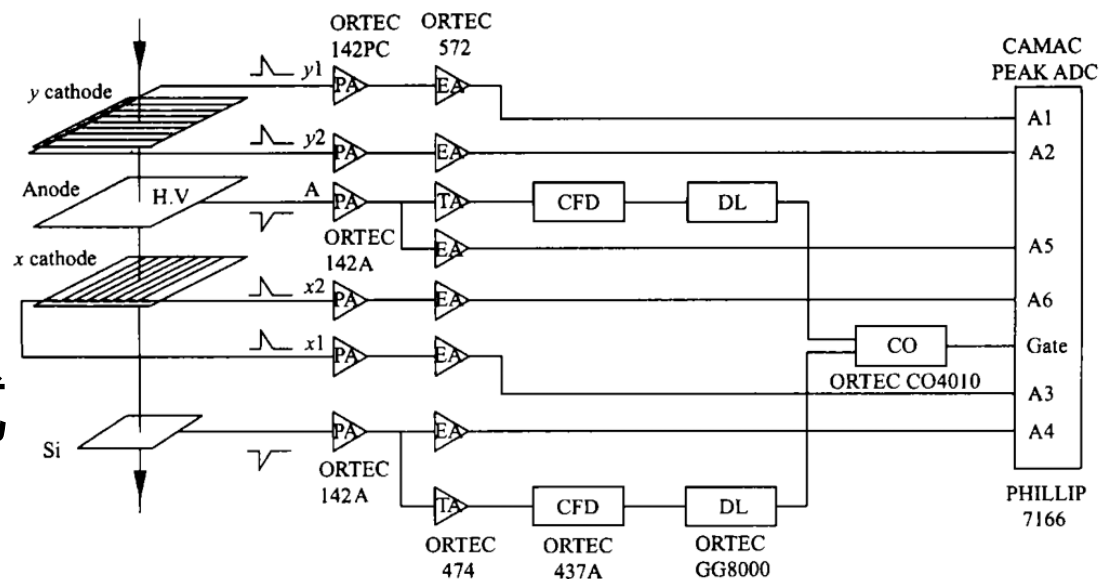


一.用于PPAC的前端读出电路设计

1. 背景

2. 电路设计

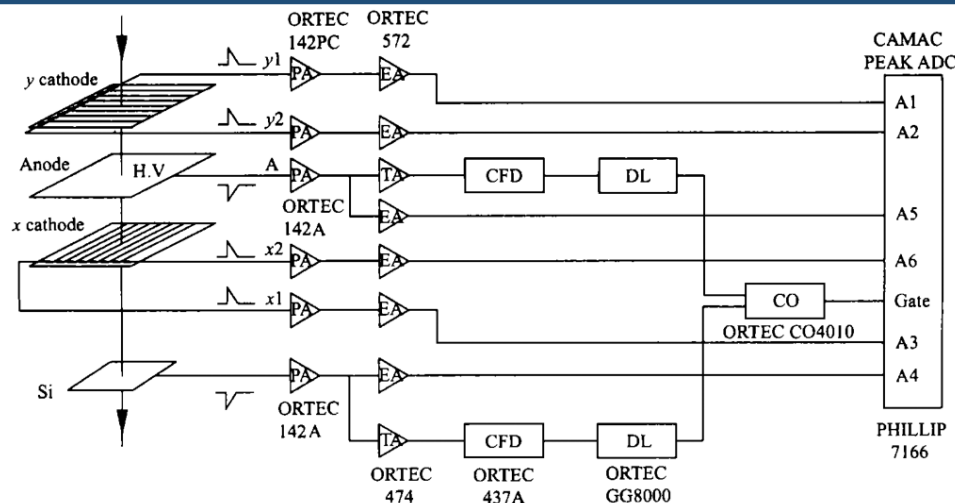
3. 整体仿真测试



PPAC探测器示意图

1.1 背景

- 近物所次级束流线在线监测
- 平行板雪崩计数器
- xy各100阴极通道
- 电荷分除法→ASIC逐条读出



PPAC探测器传统读出方式示意图

传统：电荷分除法 延迟线法

- 通道数目少
- 信噪比差
- 效率低
- 低计数率
- 系统庞大，高功耗低可靠

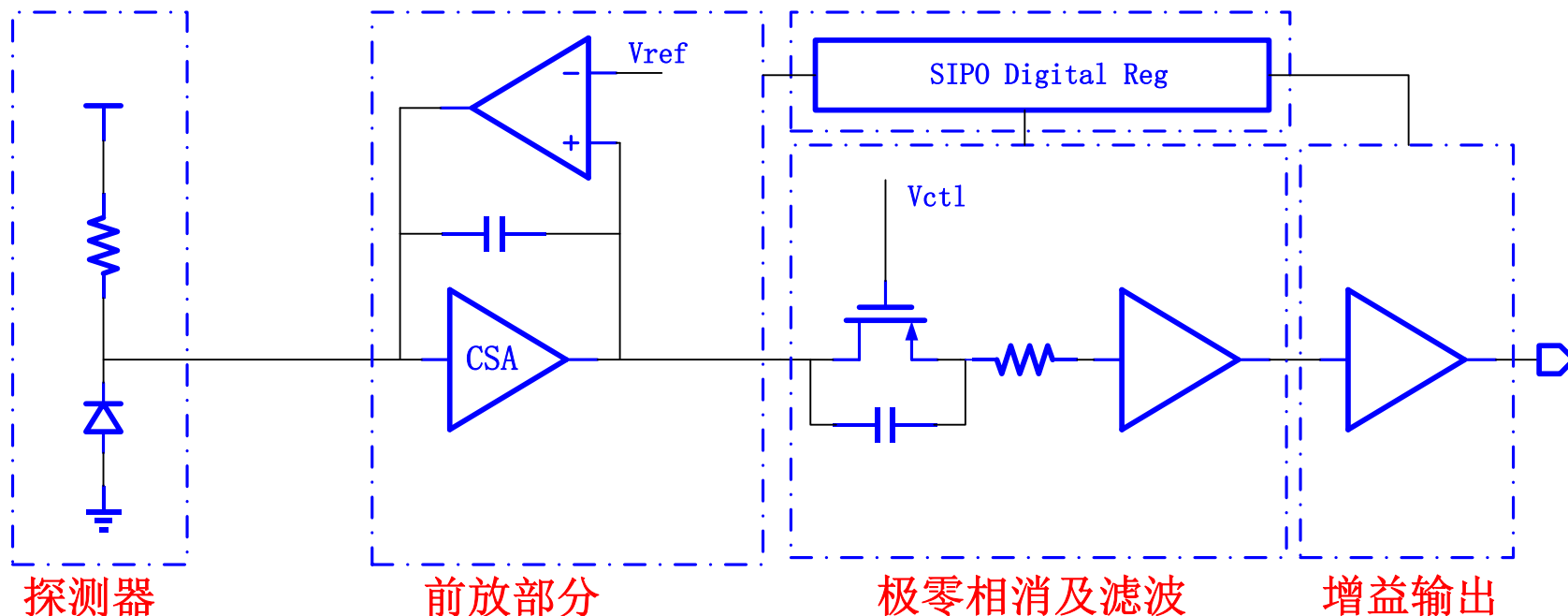
ASIC：逐条读出

- 通道数目多
- 低噪声
- 高计数率($10^6/s$)
- 高探测效率
- 低功耗高可靠

指标提出

- 直流耦合结构
- 增益指标 $1mV/fc(-0.8pc-+0.8pc)$ 及 $4mV/fc(-200fc-+200fc)$
- 能量测量达峰时间 100ns-1us
- 主放增益可调
- 双极性工作

1.2 电路设计



• 前放部分

- 直流耦合结构
- 反馈电容可变
- 跨导可变 (衰减时间可变)
- 跨导器等效反馈电阻

• 主放部分

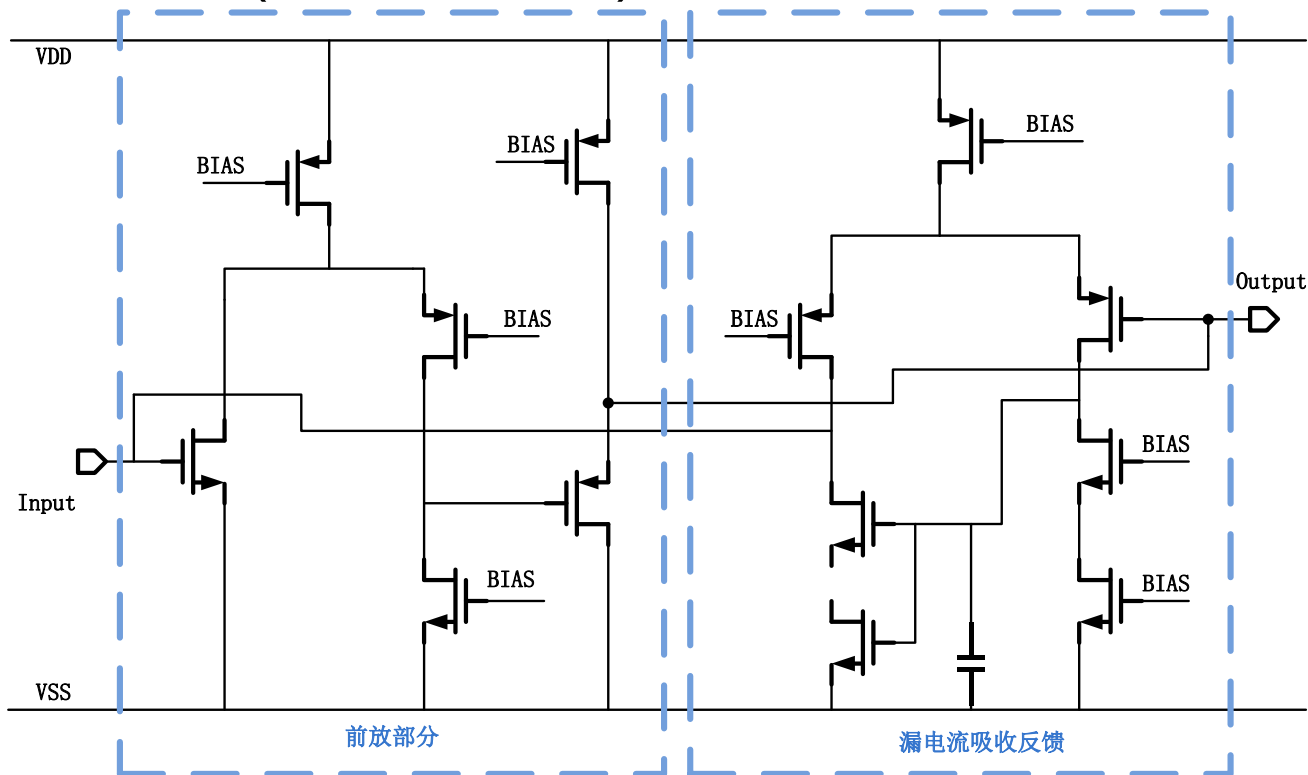
- 极零相消可调
- 基线外部可调
- 成形时间可调
- 输出增益多档可调

1.2.1 前放电路设计

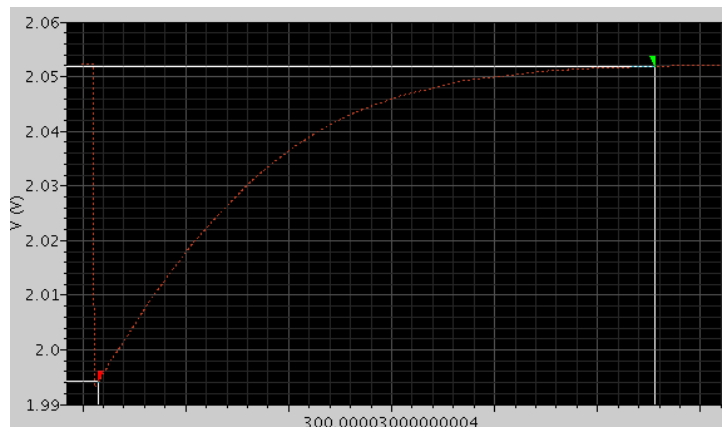
- 跨导器设计

- 非对称结构
- 漏电流吸收与吸收管栅长有关
- 阻值可调 (20M到500M)

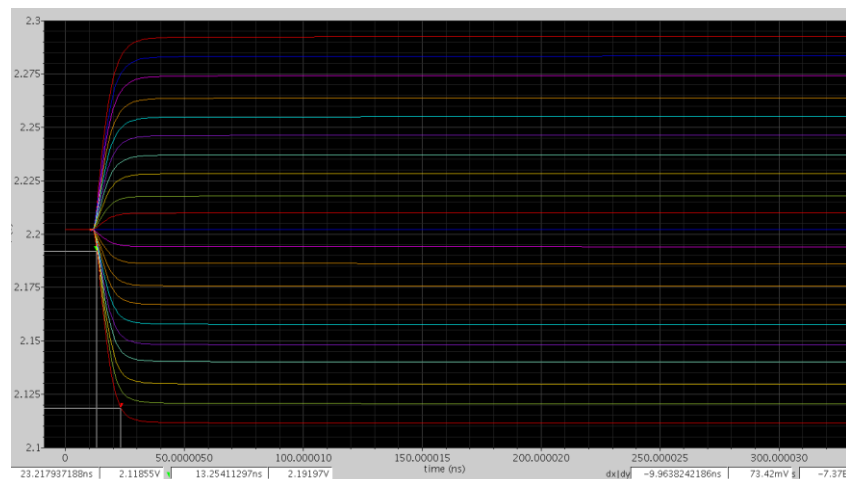
- 反馈电容 (增益) 调节
- 电容稳定设置



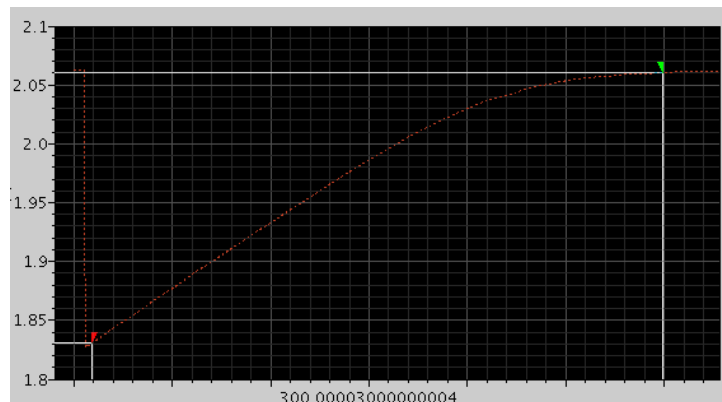
1.2.2 前放设计仿真结果



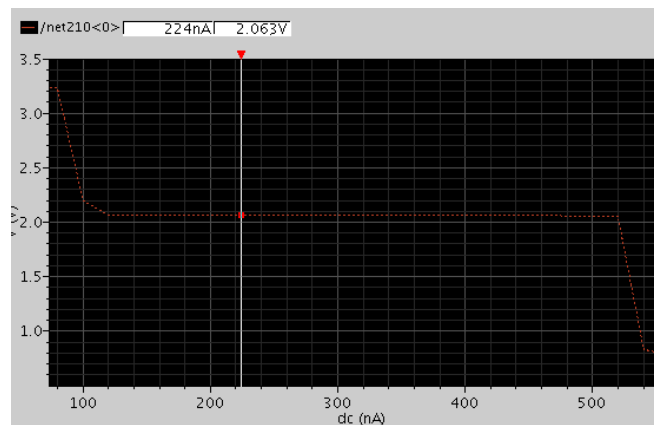
时间-前放输出电压 1mV/fc档
输入60fc信号，输出59.2mV
上升时间16ns 衰减时间540us



时间-前放输出电压
输入电荷变化 线性扫描



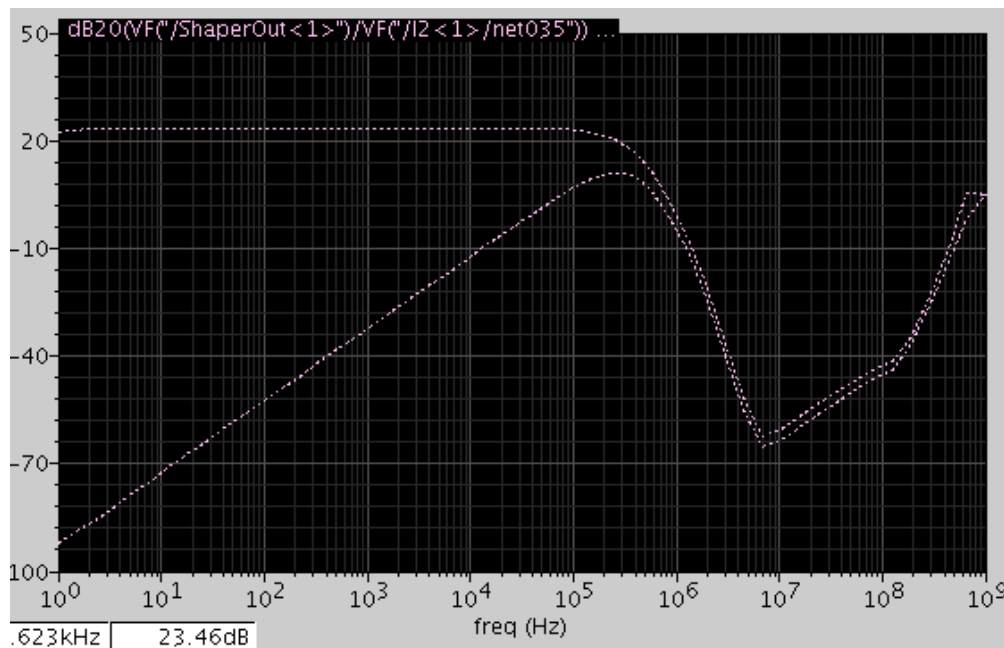
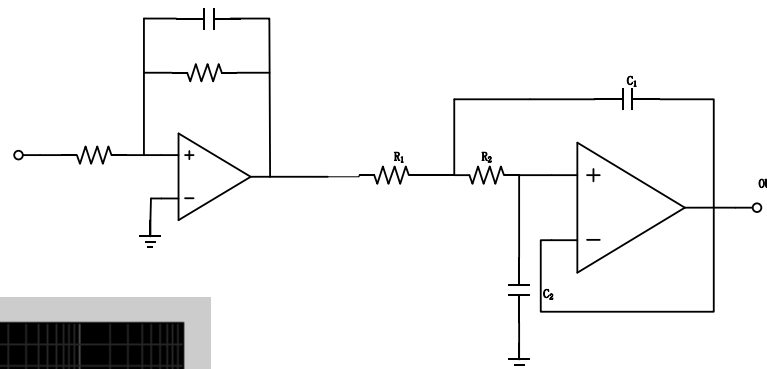
时间-前放输出电压 4mV/fc档
输入60fc信号，输出235mV
上升时间10ns 衰减时间500us



漏电流吸收能力跟电平有关
吸收能力大于300nA

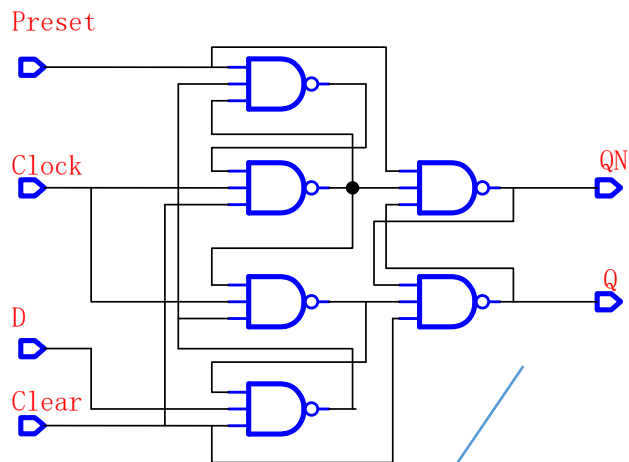
1.2.3 滤波成形电路设计

- 滤波成形部分设计
 - 贝塞尔形两级三阶低通滤波器
 - 成形时间通过电阻阻值调节



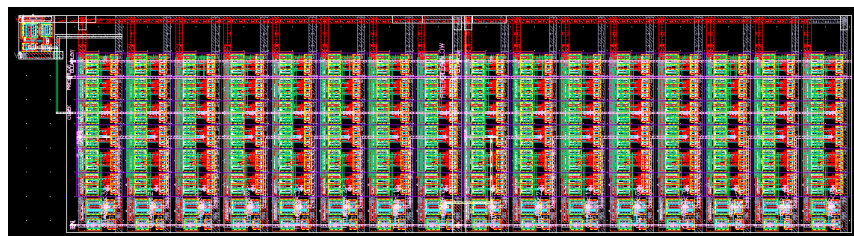
极零相消与低通滤波器频域特性

1.2.4 SIPO寄存器设计与档位

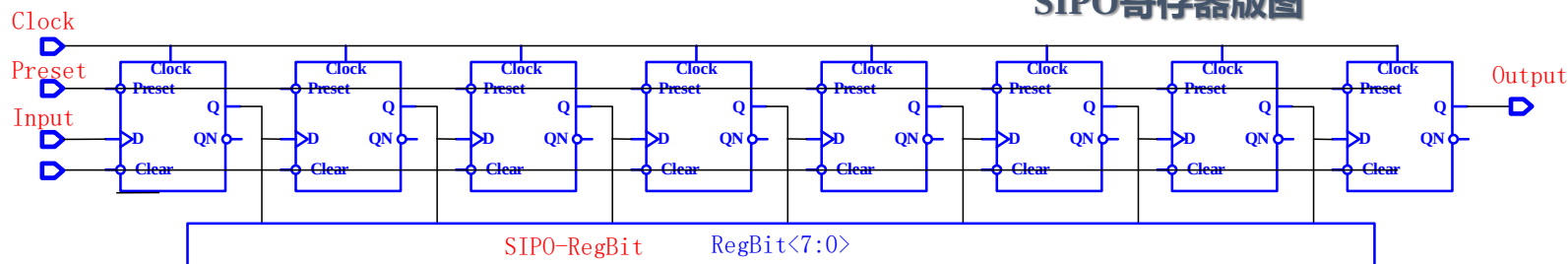


变量	OTAReg	TimeReg	CapReg	GainReg
位数	4bit	4bit	4bit	4bit
说明	跨导（反馈电阻）调节	成形时间调节	前放反馈电容调节	输出缓冲器增益
档位	0010	0010	0010	0100

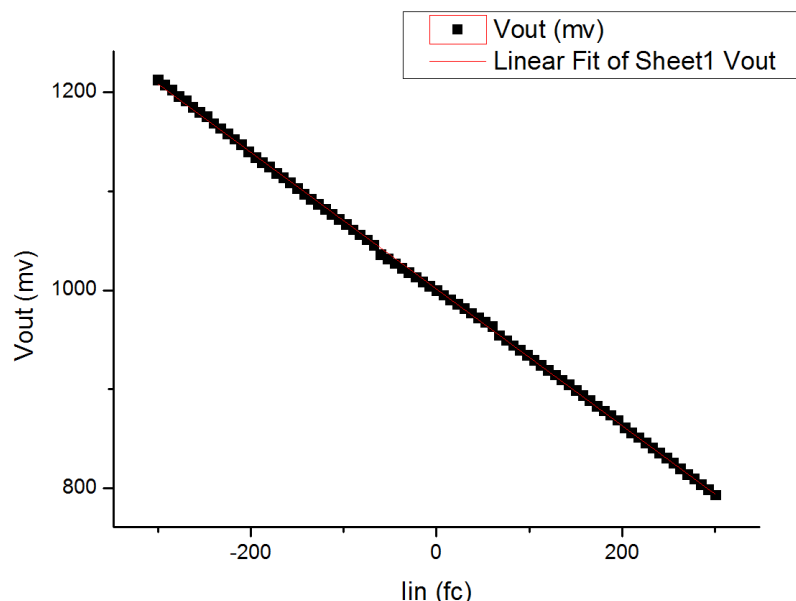
- 存在两档默认设置



SIPO寄存器版图

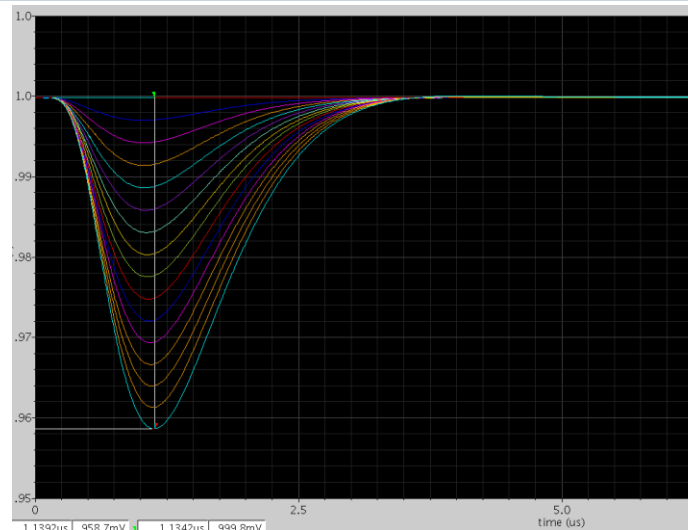


1.3 整体仿真测试

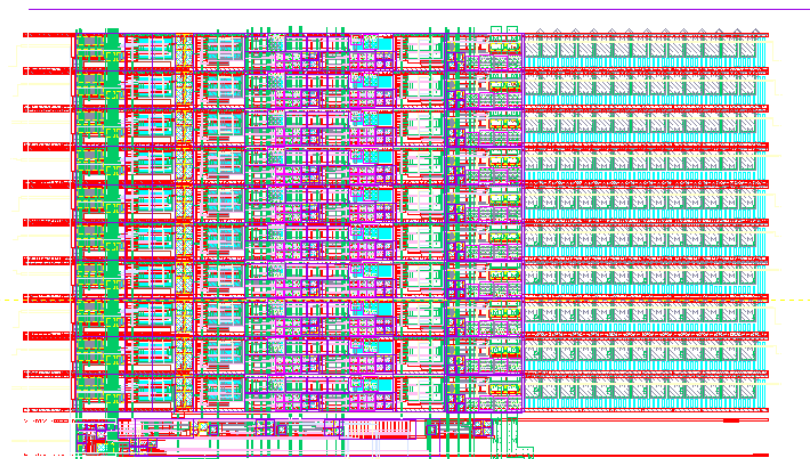


整体线性度仿真200ns达峰 1mv/fc

- 功耗：
 - 前放与滤波成形功耗 8.1mW/ch
 - 其余部分功耗 3.6mW
- 线性度：
 - 优于1.5%



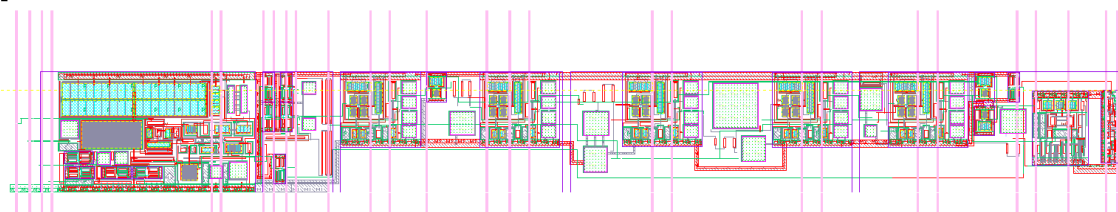
输出增益档位仿真200ns达峰



10通道版图 1171*2100

二.用于分条电离室的时间探测电路设计

- 1. 背景
- 2. 整体电路设计
- 3. 模块设计
- 4. 整体仿真测试



单通道版图

2.1 背景

- 分条电离室 探测器特点：

- 响应速度快
- 多通道
- 气体探测器

- 用途：

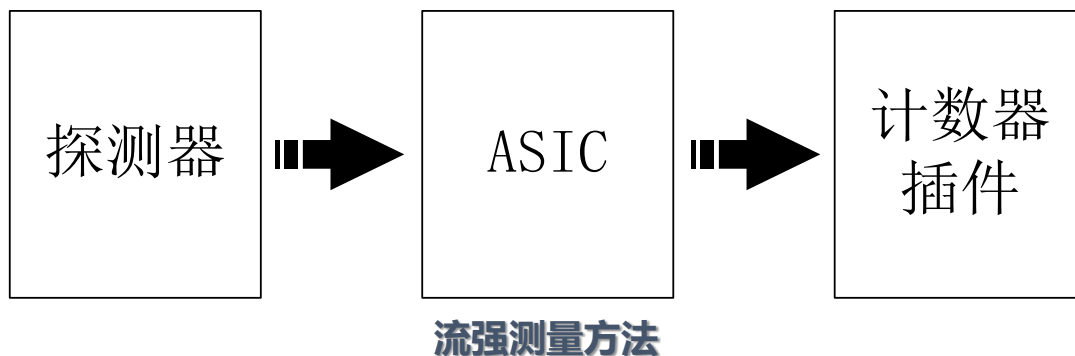
- 束流的在线监视
- 径迹探测器

- ASIC需求：

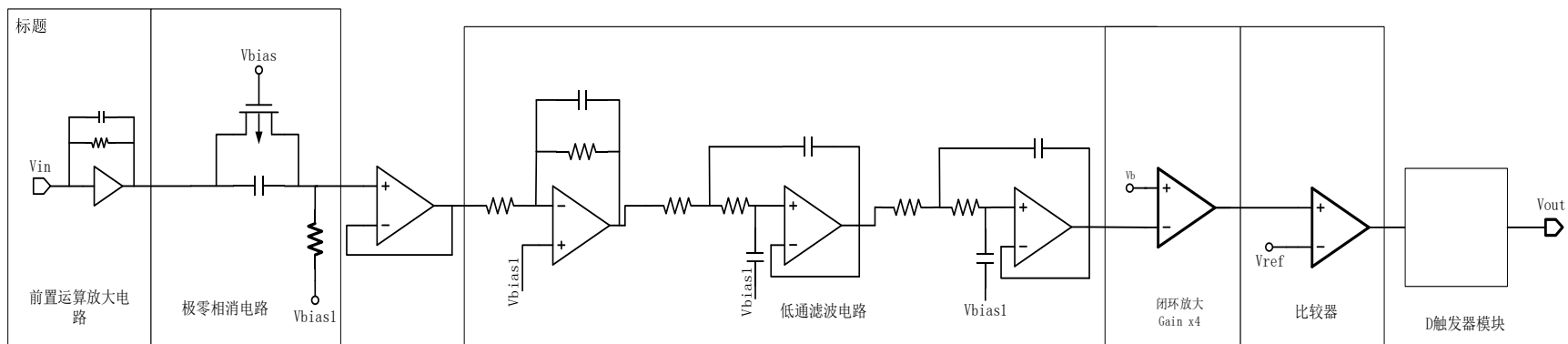
- 高分辨、低噪声、快速读出

- ASIC功能：

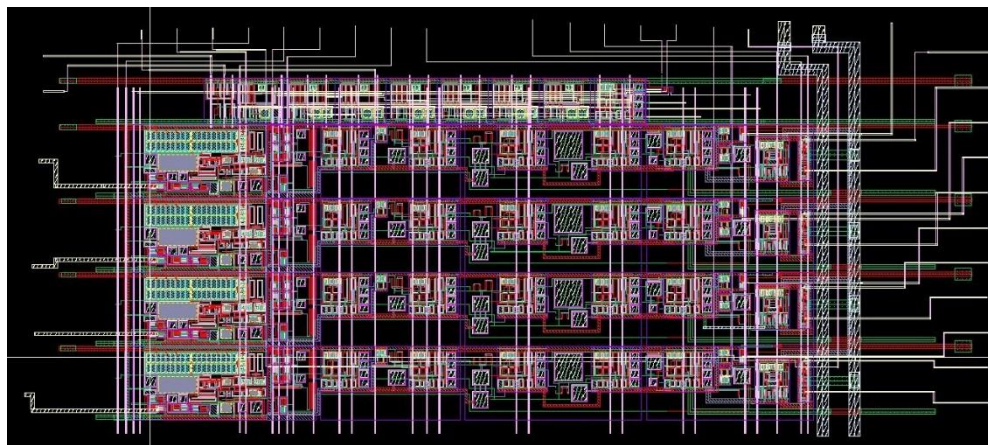
- 束流剖面的测试、束流位置的实时监测
- 进入计数器进行流强测量



2.2 整体电路设计

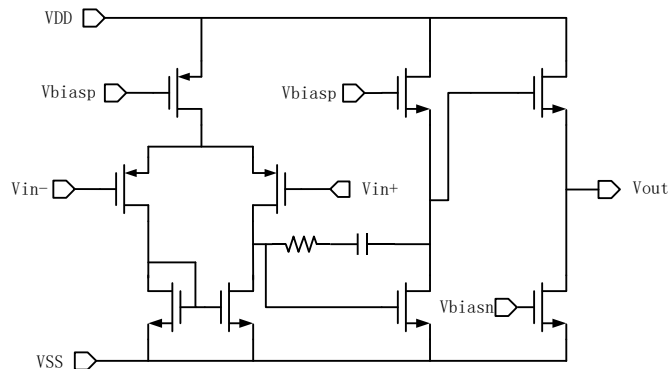


时间测量电路整体结构框图

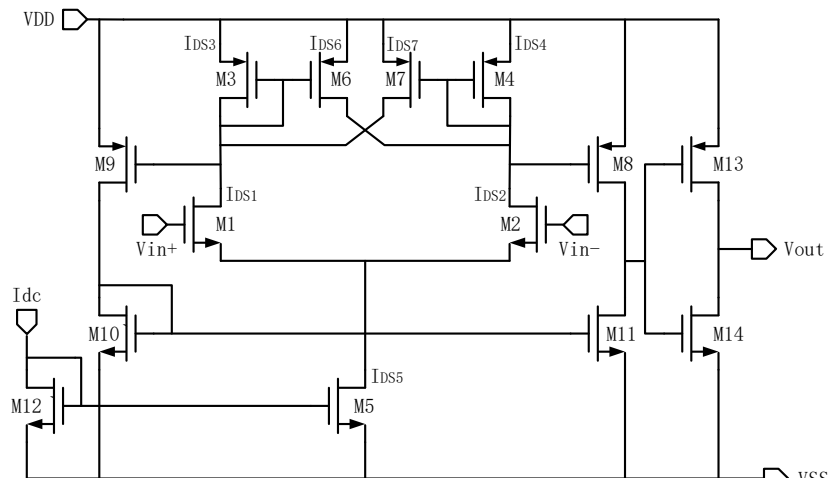


时间测量电路四通道版图

2.3.1 模块设计：运放与比较器



运放结构



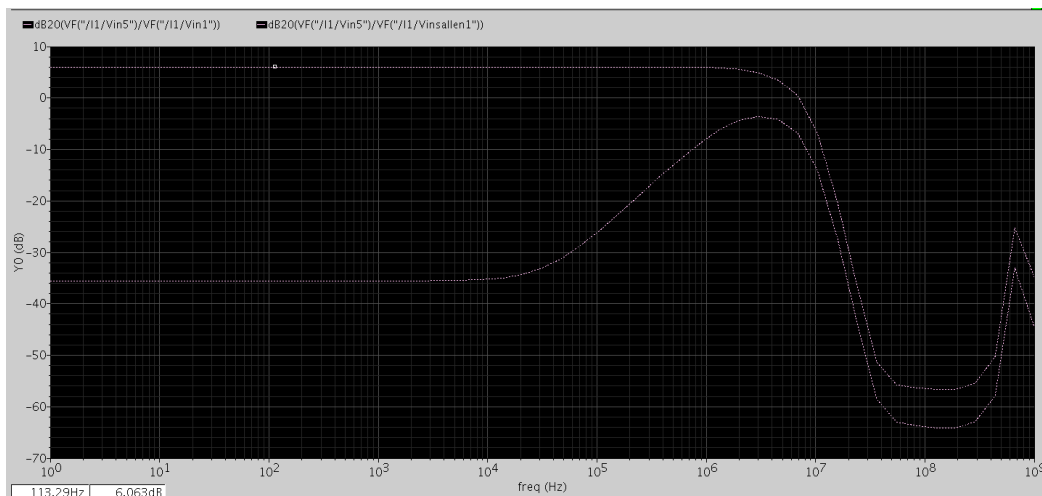
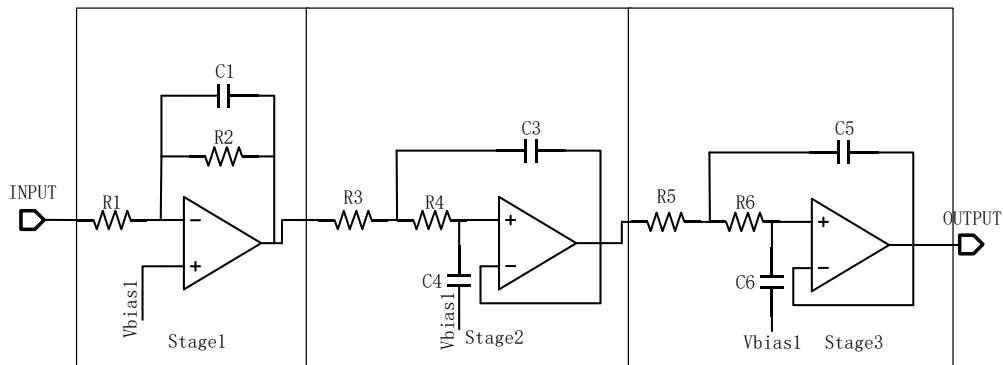
比较器带宽200MHz以上，增益70dB，2mv迟滞

运放指标

带宽/MHz	增益/dB	相位裕度/deg	摆率/V/ μ s	输入范围/V	输出范围/V	PSRR/dB	CMRR/dB
210.5	70.4	61	181.8	0-2.2	0-2.2	34.34	70.42

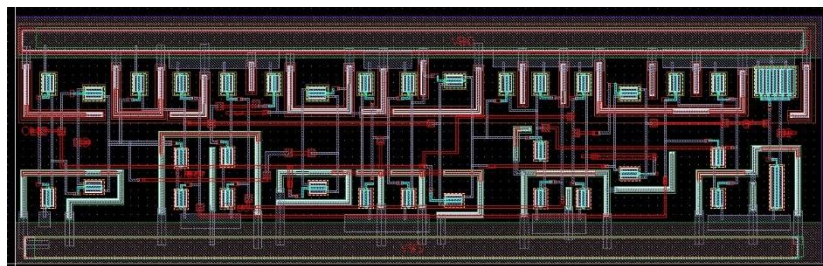
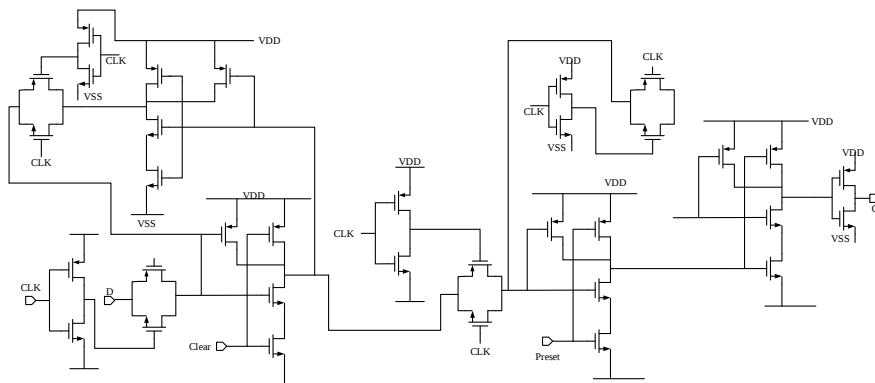
2.3.2 模块设计：滤波器设计

- 滤波器设计
 - 贝塞尔形滤波器

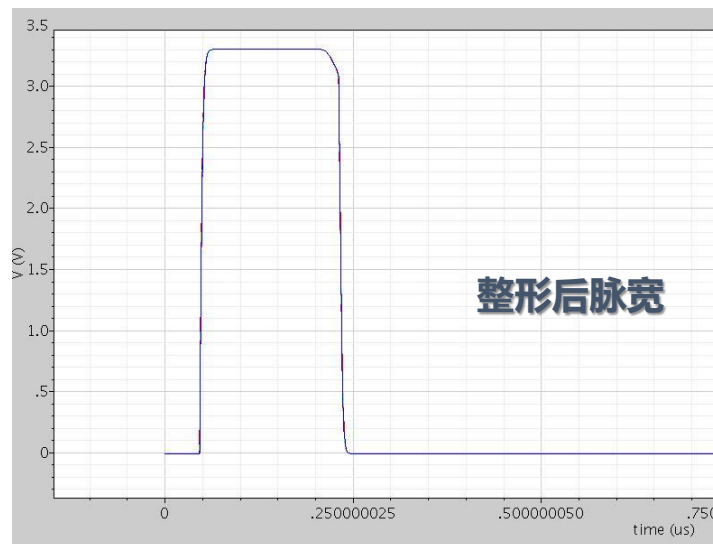
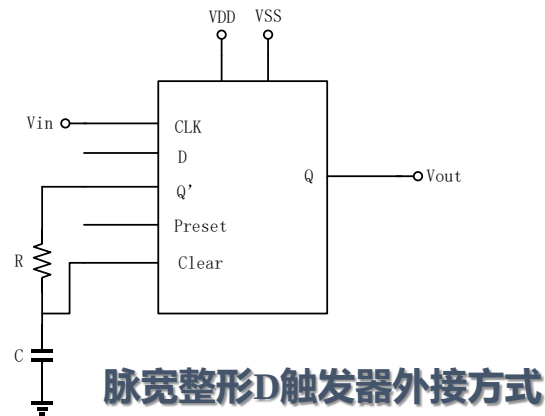


低通滤波器频域特性

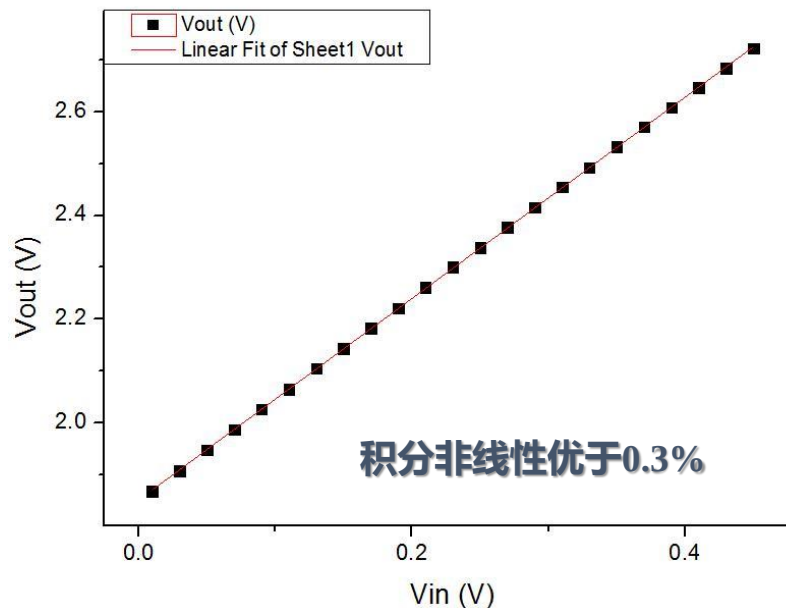
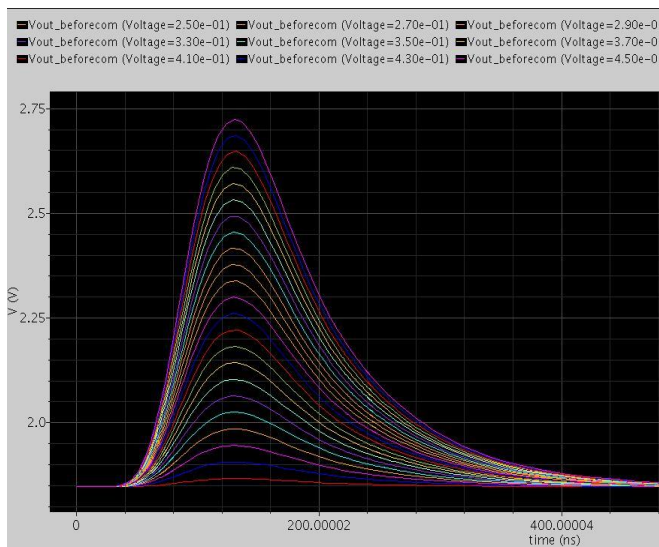
2.3.3 模块:用于整形D触发器



脉宽整形D触发器原理图及版图



2.4 整体仿真测试



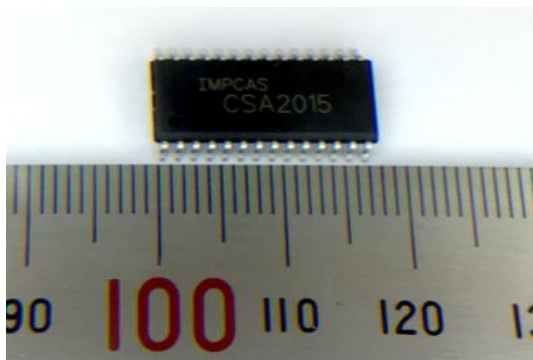
- 能量特性
 - 滤波成形电路积分非线性优于0.3%
- 时间特性
 - 幅度范围 4mv-500mv
 - 150ns的信号宽度，输出脉冲频率可达3Mhz

三. 实验室已有基础

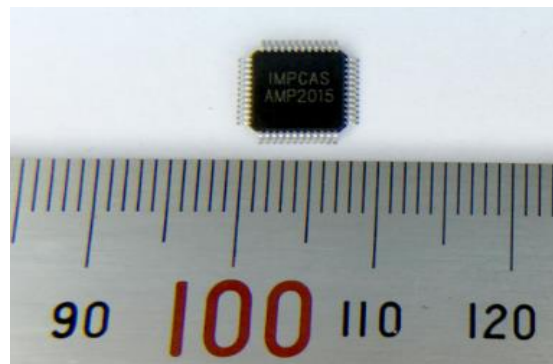
1. 两款芯片介绍
2. 实验室测试
3. 探测器联合测试



3.1 两款芯片介绍



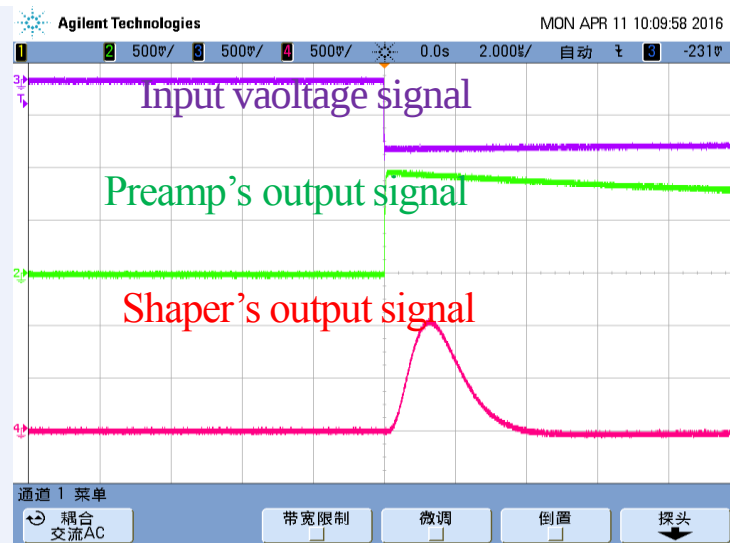
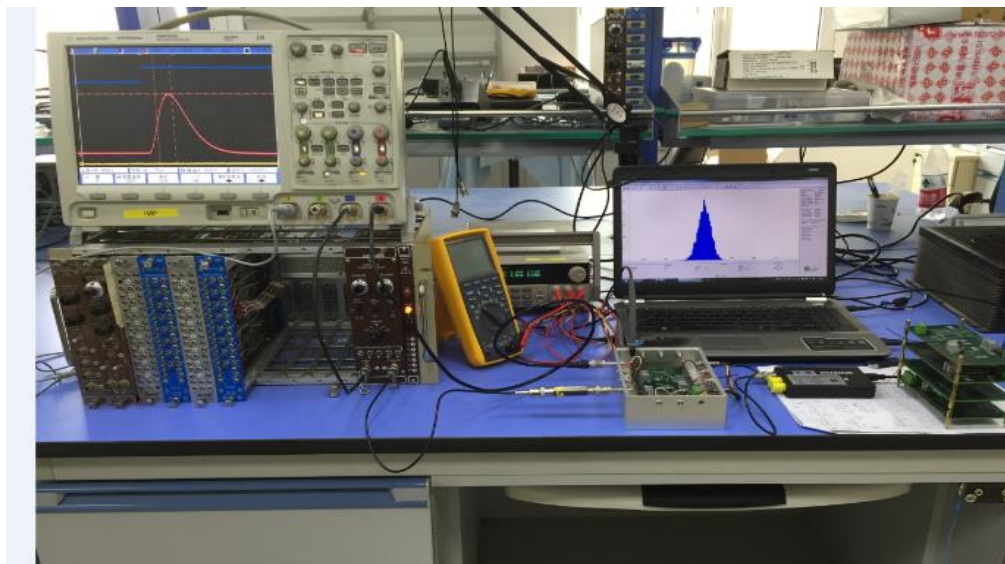
前放芯片



滤波成形芯片

- 前放芯片：
 - mos电阻反馈
 - 1mv/fc
 - 8通道
- 滤波成形芯片：
 - 极零相消加低通滤波
 - 三档达峰时间 50ns
100ns 1 μ s
 - 4通道

3.2.1 前放主放实验室测试(1)



ASIC measurement equipment

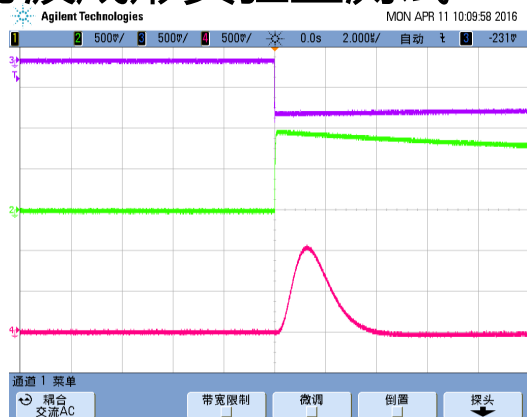
- Signal source:
ORTEC-419
- Oscilloscope:
Agilent MSO7034A
- Power source:
ITECH-IT6322
- MCA800D



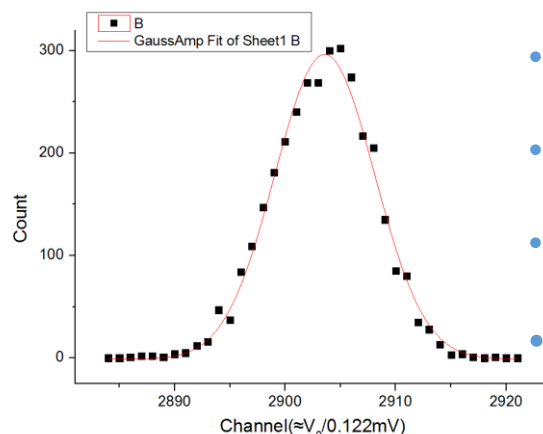
AMP2015 实验室测试

3.2.1 前放主放实验室测试(2)

• 滤波成形实验室测试



1us档位成形时间功能测试



约2900道位置的高斯拟合

FWHM=10.627

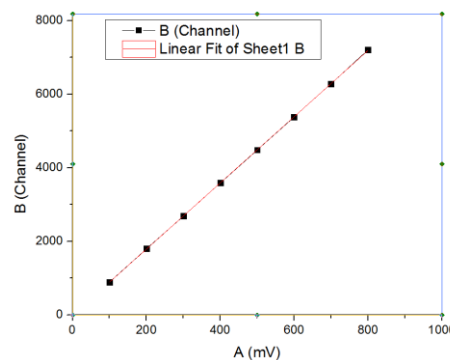
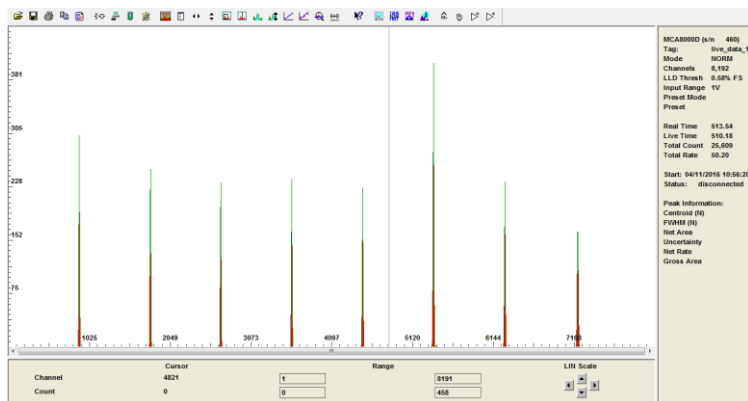
$X_c=2903.5$

$V=0.354\text{mV}$

$R=0.36\%$

线性度优于 0.4%
能量分辨率优于1%

• 前放主放联合测试



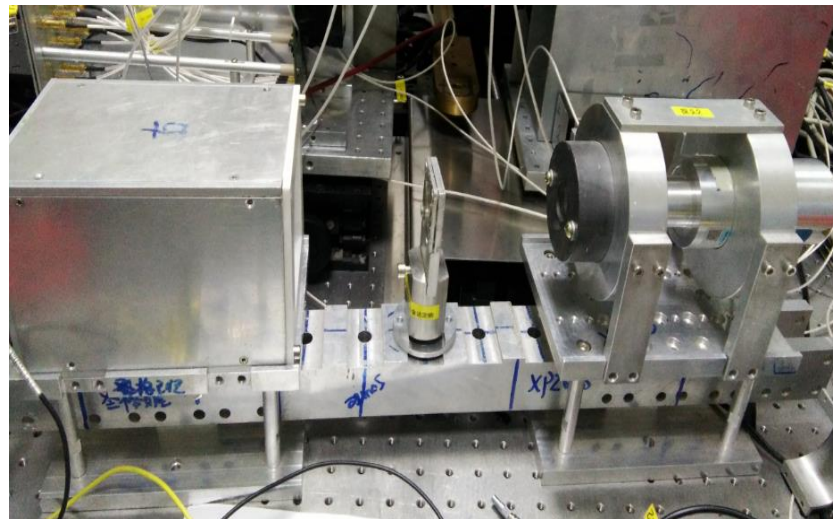
线性度优于 1.2%
能量分辨率优于1%

3.3 主放的探测器测试

测试对象： LaBr_3 标准探头
符合测试

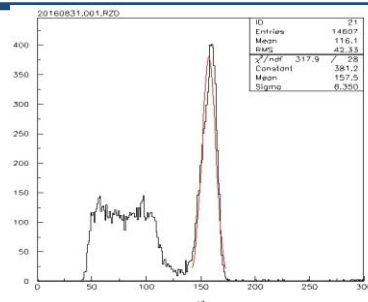
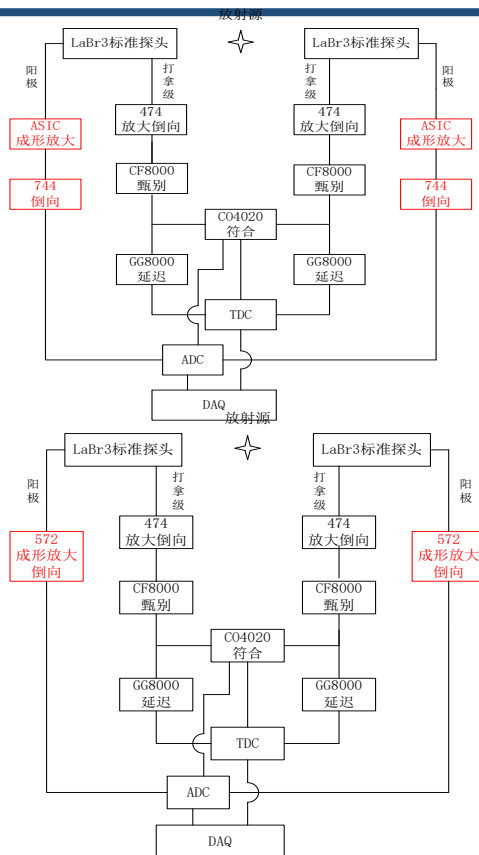
测试方法： 阳极信号进
ASIC(1us)经744倒向进ADC，
与572性能进行比对。时间
路电子学不变。

测试目的： 对比ASIC和主
放572的性能。

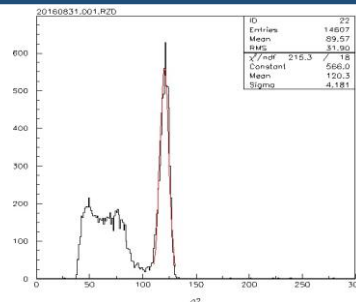


LYSO晶体阵列与 LaBr_3 标准探头符合测试

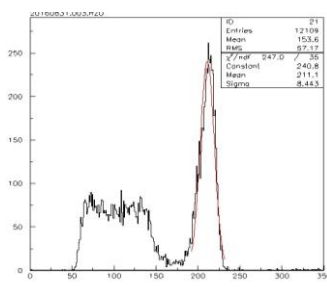
3.3 主放的探测器测试



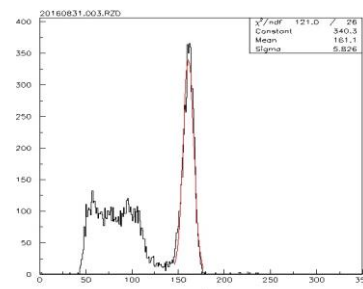
探头一能谱
 $\sigma=6.35$; $\text{mean}=157.6$
能量分辨=9.2%



探头二能谱
 $\sigma=4.181$; $\text{mean}=120.3$;
能量分辨=8.2%



探头一能谱
 $\text{SIGMA}=8.443$; $\text{MEAN}=211.1$
能量分辨=9.4%



探头二能谱
 $\text{SIGAMA}=5.826$; $\text{MEAN}=161.1$;
能量分辨=8.5%

测试目的: 对比ASIC和主放572的性能。

测试结果: 测试得到的能谱形状相似, 从511主峰的分辨看, 差异较小, ASIC的性能优于572



四. 总结与展望

- 实验室已有基础：
 - 前放主放的设计方法
 - 低噪声前放的设计
 - 针对气体探测器的两款电路及低噪前放已经送交流片
- 后续发展
 - 在读出电路中集成ADC设计



谢谢

