



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

State Key Laboratory of Particle Detection and Electronics

基于线性放电TOT技术的低噪声前端读出ASIC设计

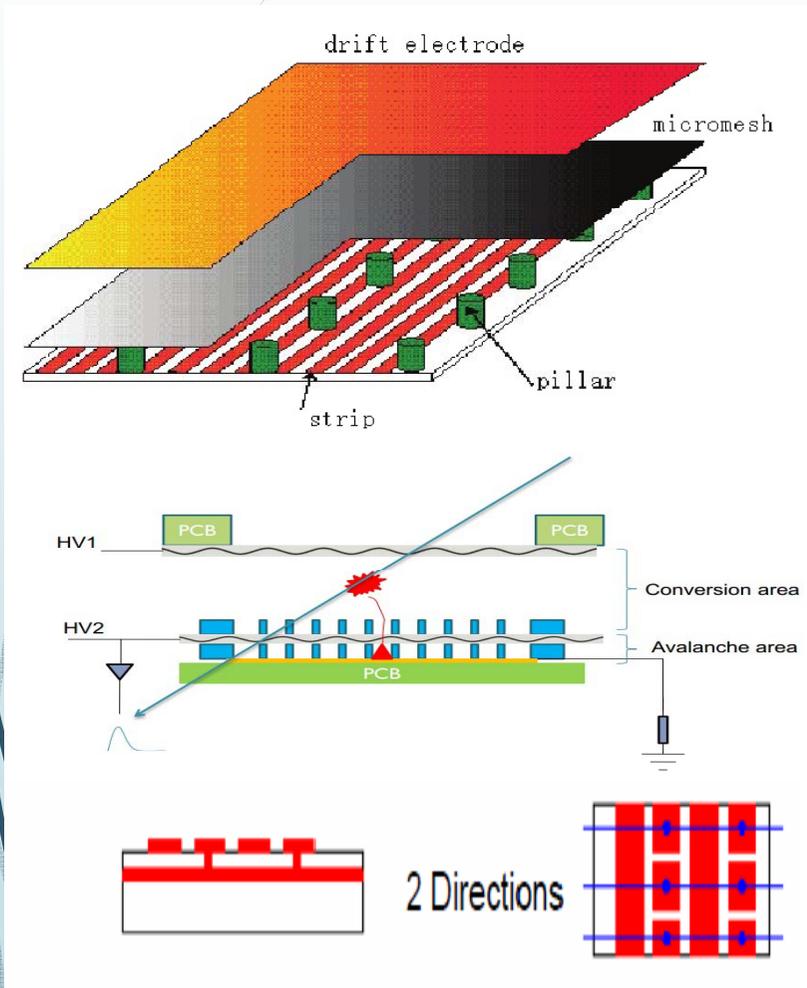
李怀申 王娜 李绍富 刘刚 江晓山

2014-08-15

主要内容

- 芯片简介
 - 设计背景及应用
 - 电子学系统读出方案
 - 芯片电路结构
 - 仿真结果及性能指标
- 测试结果
 - 芯片测试结果

设计背景及应用



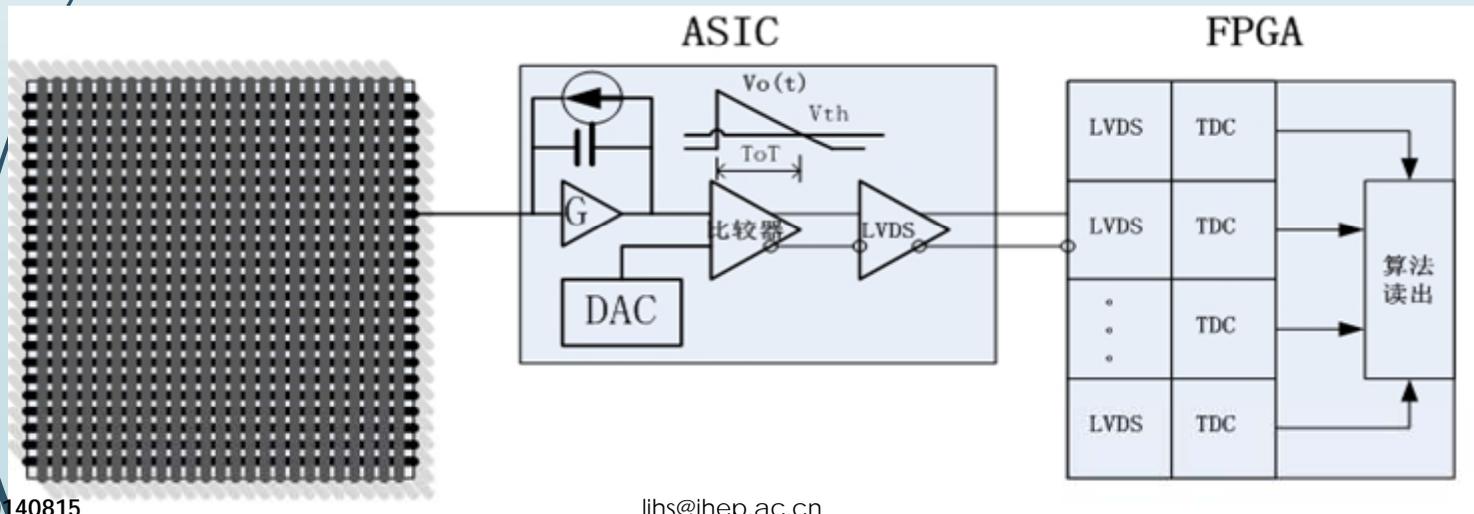
- MPGD (MicroMEGAS、GEM)探测器计数率、位置分辨率要求高
- 二维读出，空间限制
- 多通道读出
- 同时需要一定的能量信息、时间信息
- 需要集成度高的低噪声前端读出ASIC芯片

典型的探测器参数	
探测器电容	~40pF
探测器电荷	300fC
读出条电荷	5-120fC
噪声	<2000e-
通道	多通道读出

电子学系统读出方案

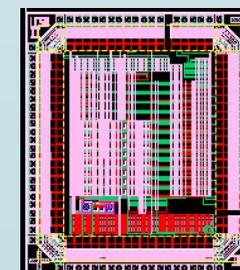
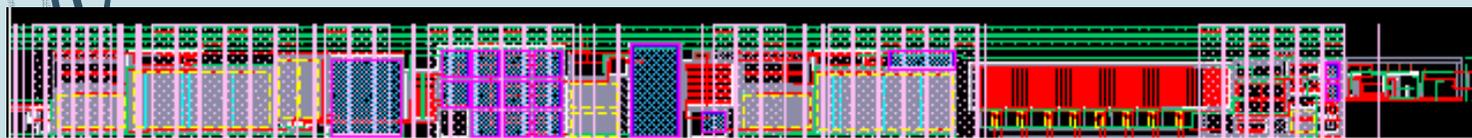
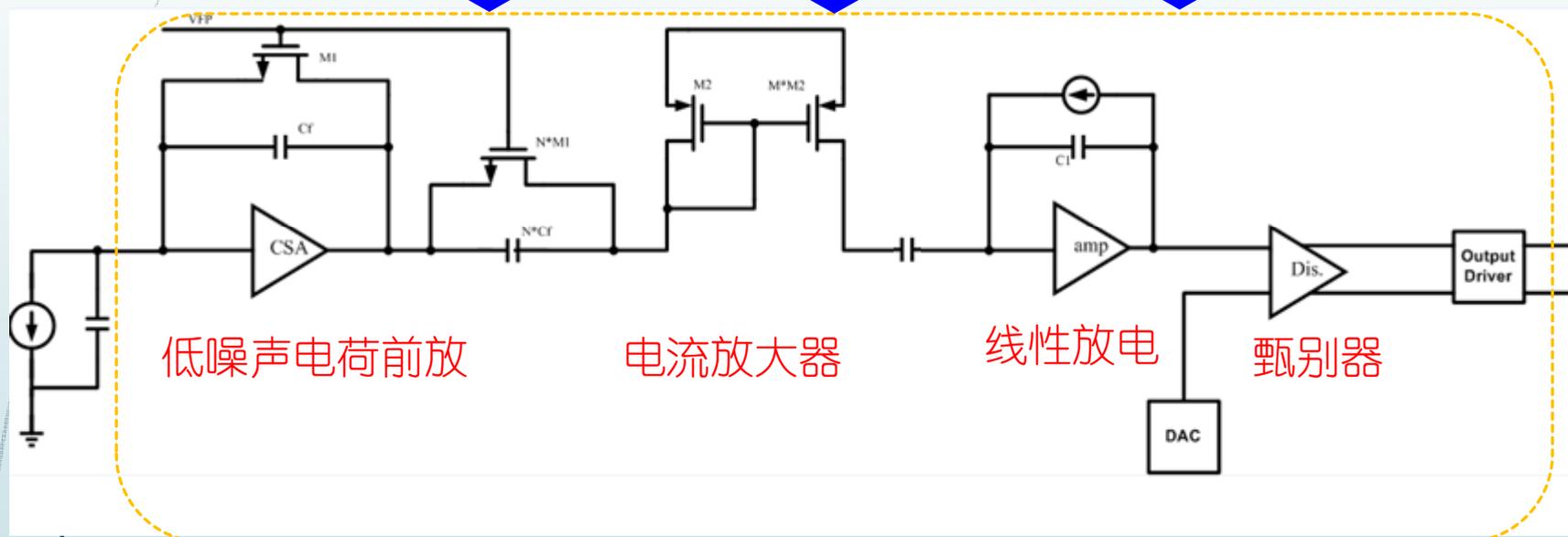
实现时间和电荷信息的同时测量

- ▶ TOT (Time over Threshold) 方法:
 - ▶ 测量输出脉冲的时间, 换算得到入射粒子的电荷量 (能量)
- ▶ 功能模块:
 - ▶ 低噪声电荷灵敏前放、线性放电级, 甄别器, 输出驱动, TDC
- ▶ 探测方法:
 - ▶ 脉冲的前沿代表了信号的到达时刻, 脉冲的宽度代表了电荷量



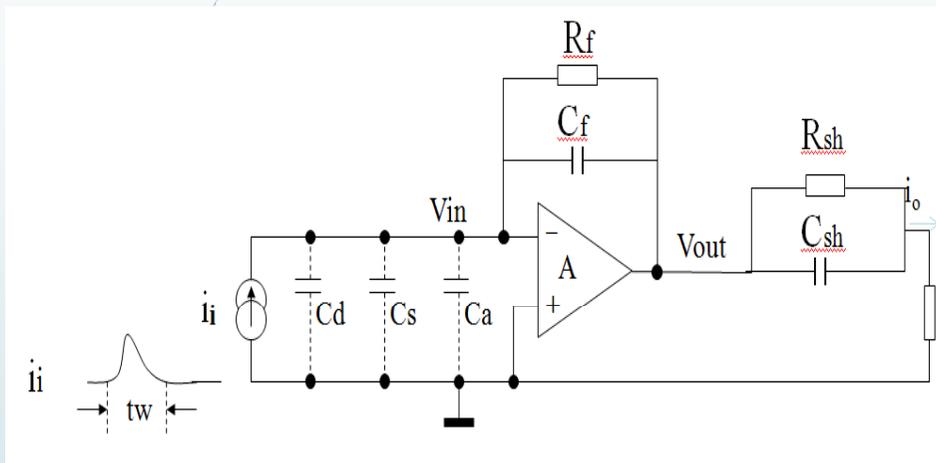
芯片电路结构

Bandgap, bias, control logic, calibration



芯片设计---电荷前放

输入级：电荷灵敏前放



t_R 时间内，输出电流为：

$$i_o = - \frac{I_{iM} C_{sh}}{C_f} (1 - e^{-1/R_{if} C_{if}})$$

$$R_{if} = \frac{C_a}{GC_f}, \quad C_{if} = C_i + C_f$$

电流增益 $K_I = -\frac{C_{sh}}{C_f}$

其中： $R_{sh} C_{sh} = R_f C_f$

- 低噪声
- 输出电流恢复到输入电流
- 以 $R_f C_f$ 为时间常数到稳态

芯片设计---线性放电级

线性放电级

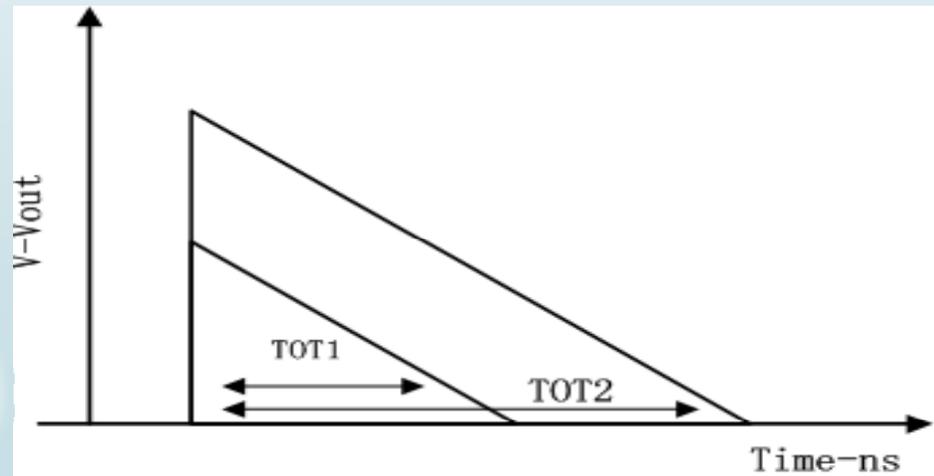
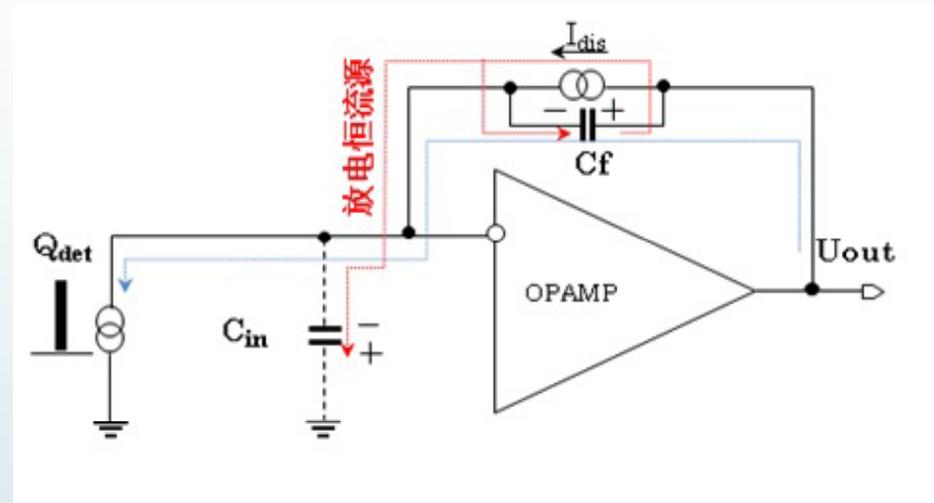
- 电荷-时间转换
- 线性放电型TOT
- I_{dis} 为恒流电流源

$$V_{out}(t) = \frac{Q_{in}(t)}{C_f} = \frac{1}{C_f} \int_0^t (I_{in}(t') - I_{dis}(t')) dt'$$

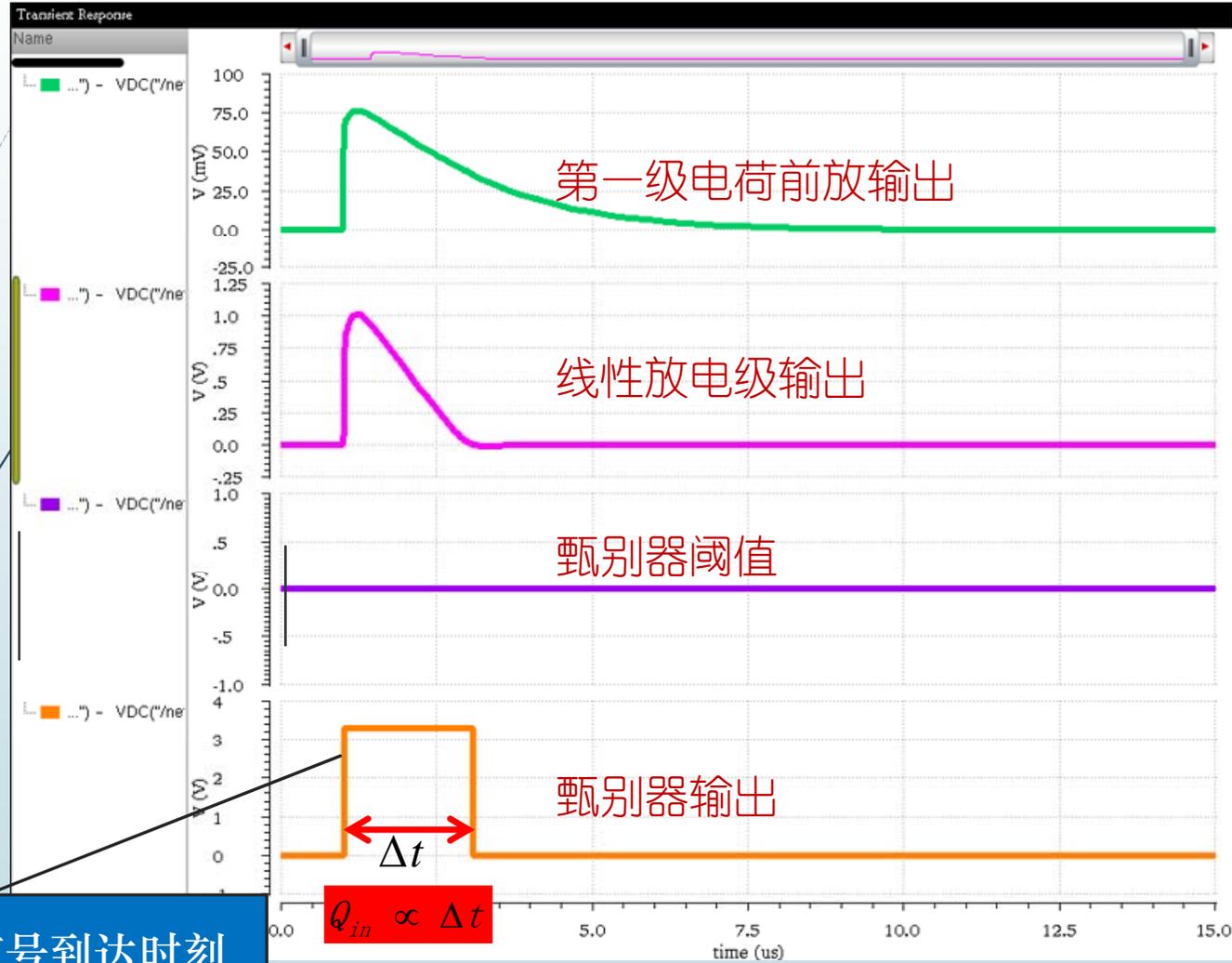
$$Q_{inj} = \int_0^{\epsilon} I_{in}(t') dt'$$

$$V_{out}(t) = \frac{Q_{inj} - I_{dis}t}{C_f}$$

$$V_{out}(TOT) = \frac{Q_{inj} - I_{dis}TOT}{C_f} = 0 \rightarrow TOT = \frac{Q_{inj}}{I_{dis}}$$

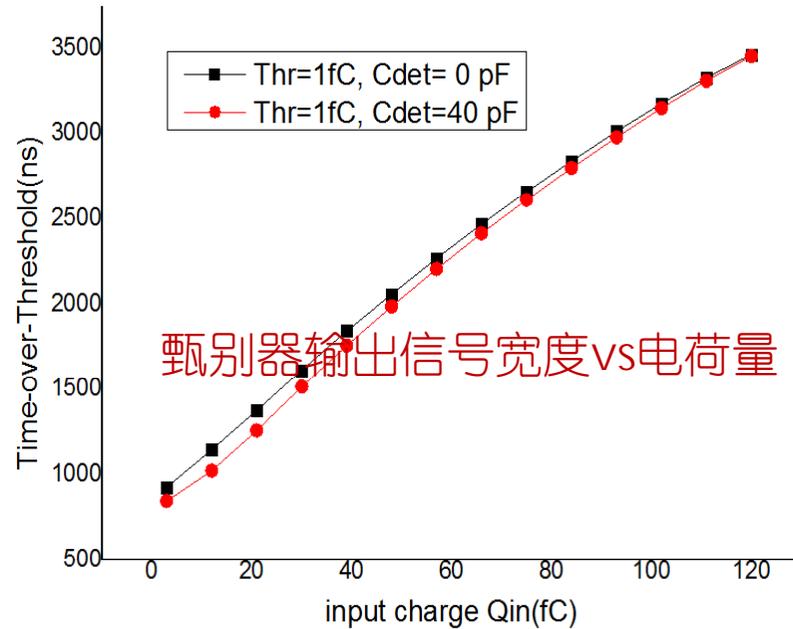
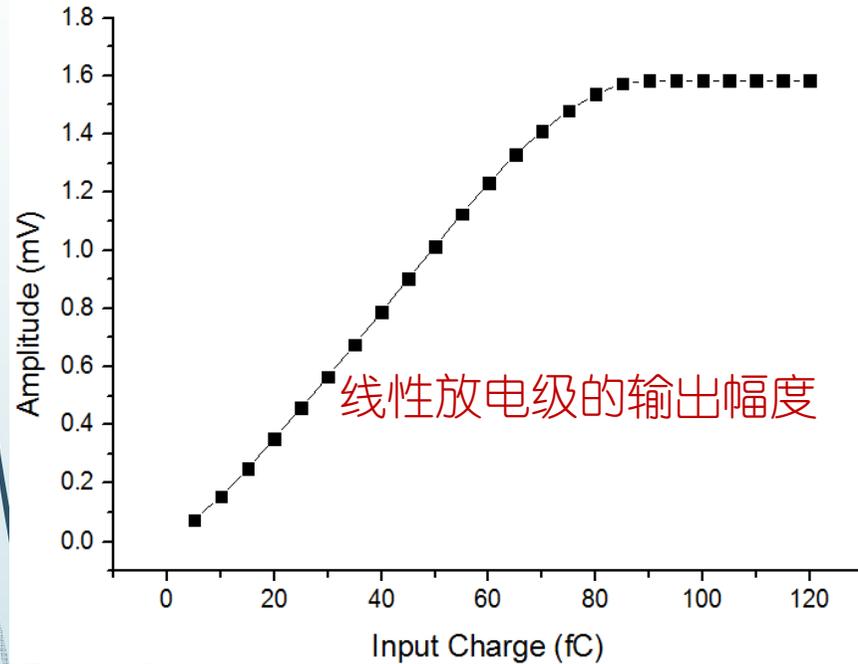


电路功能仿真



前沿 t_0 : 信号到达时刻

线性仿真

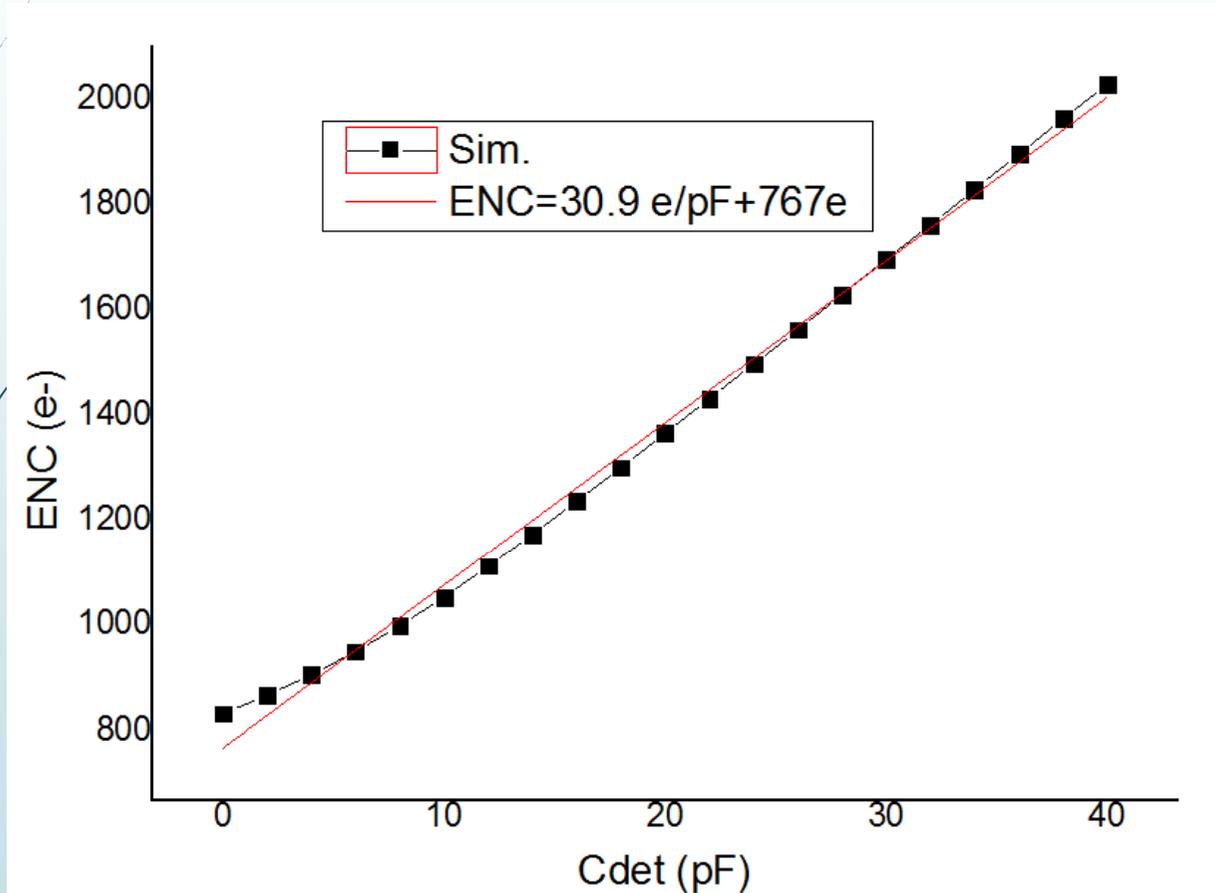


大约在大于60fC输入条件下，线性放电输出趋于饱和

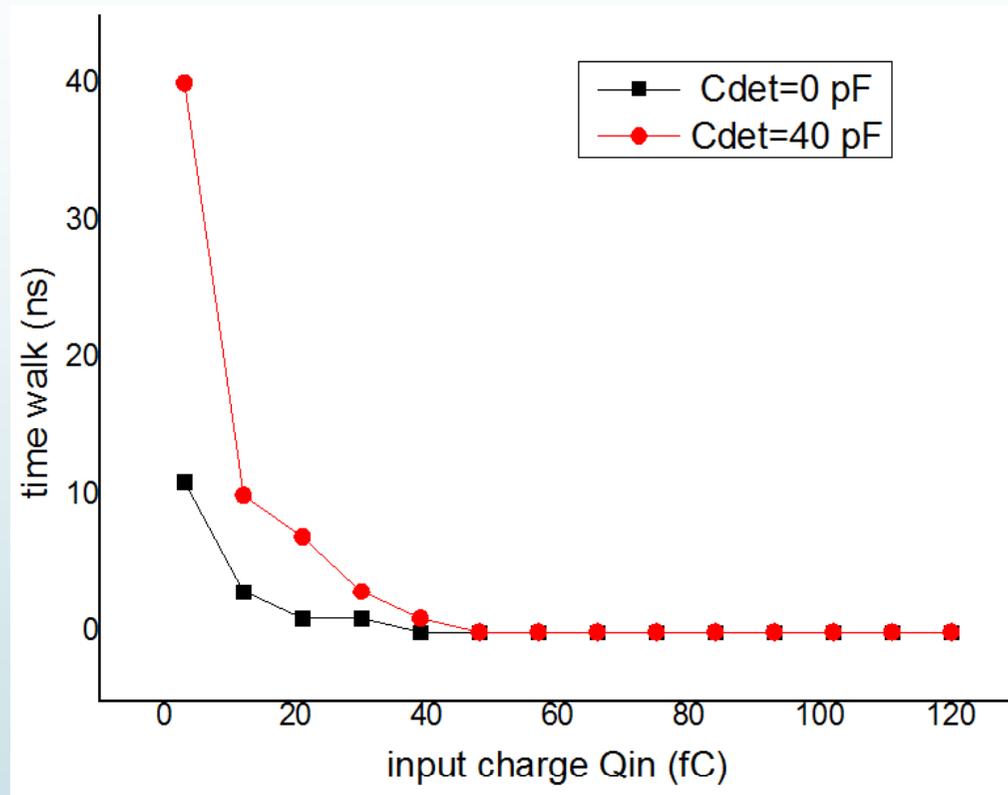
在5~50fC输入时，增益为：21.2mV/fC

在小信号和大信号时线性变差
5~120fC输入下：INL<3.5%

噪声仿真



时间特性仿真

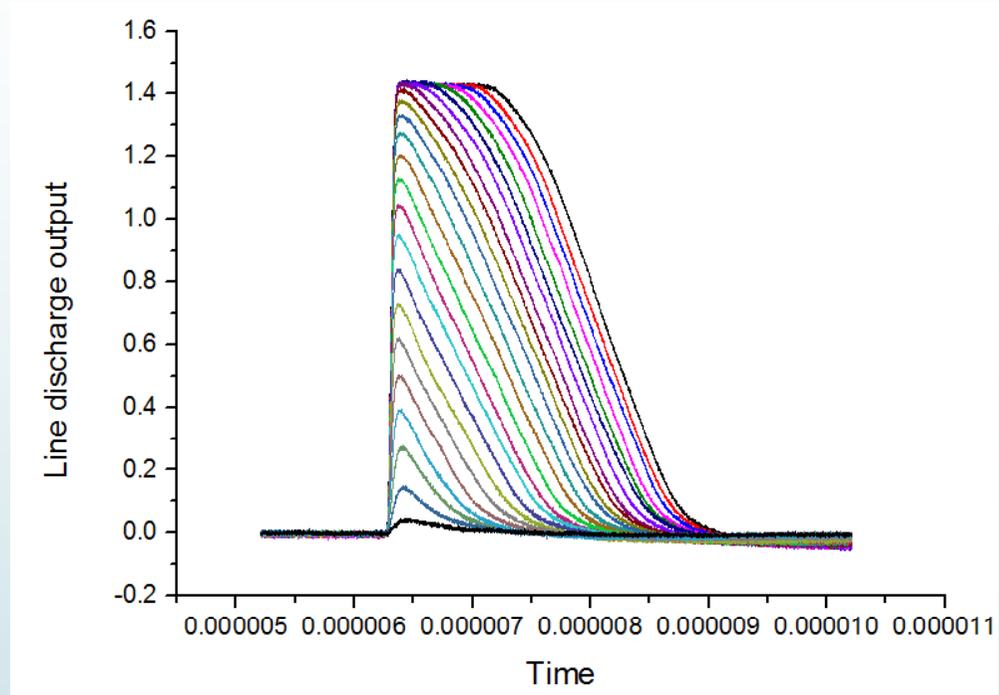
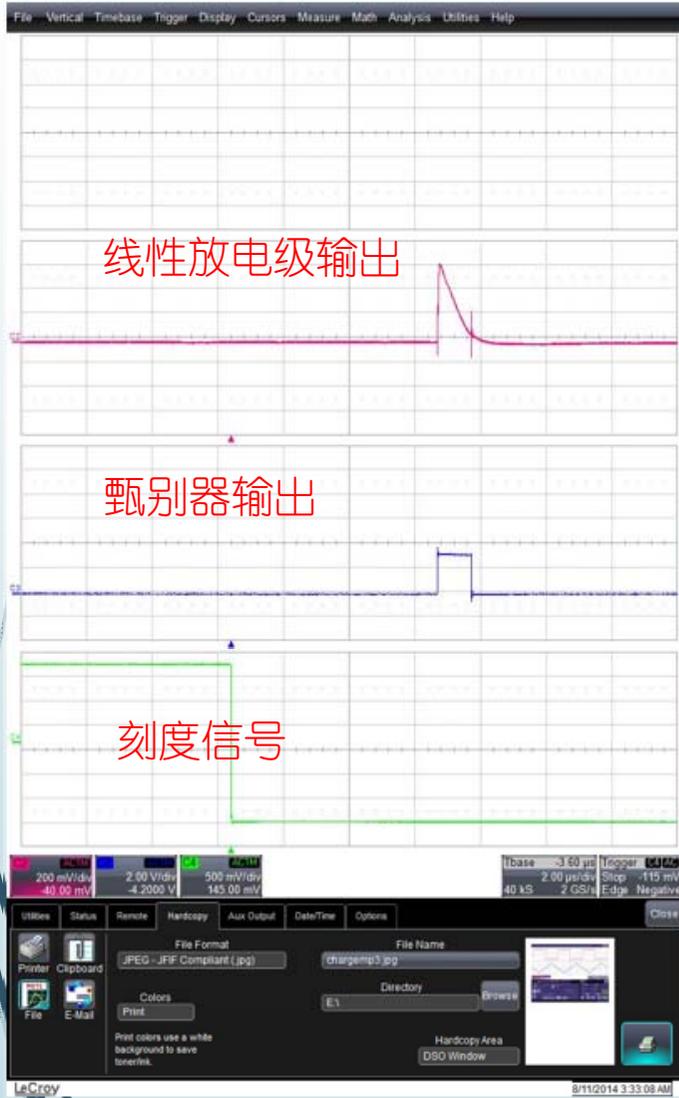


不同探测器电容下的时间游动

芯片主要性能参数

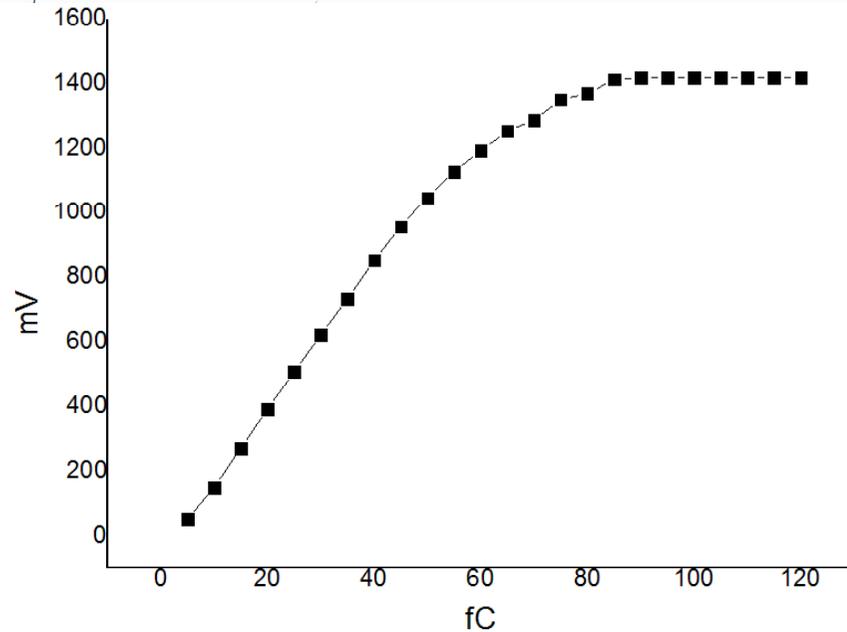
芯片性能	
输入信号范围	5-120fC
噪声	<2000e- @40pF
线性	INL<3.5%(线性拟合, 未修正,5-120fC范围输入)
时间游动	<40ns (修正前)
时间晃动	<2ns(5-120fc范围)
功耗	~1mA/ch

芯片测试---功能测试

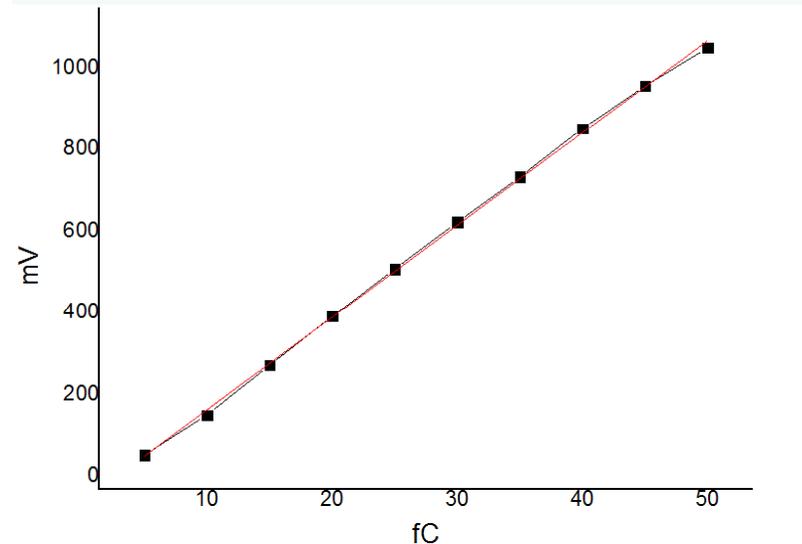


5~150fC输入的输出叠加
步长：5fC

芯片测试---模拟输出



5~120fC电荷量输入
50fC以上，模拟输出端饱和



取5~50fC电荷量输入，计算模拟输出与
输入电荷量的关系，
幅度/输入=22.6mV/fC

增益仿真值：21.2mV/fC

线性测试---甄别器输出

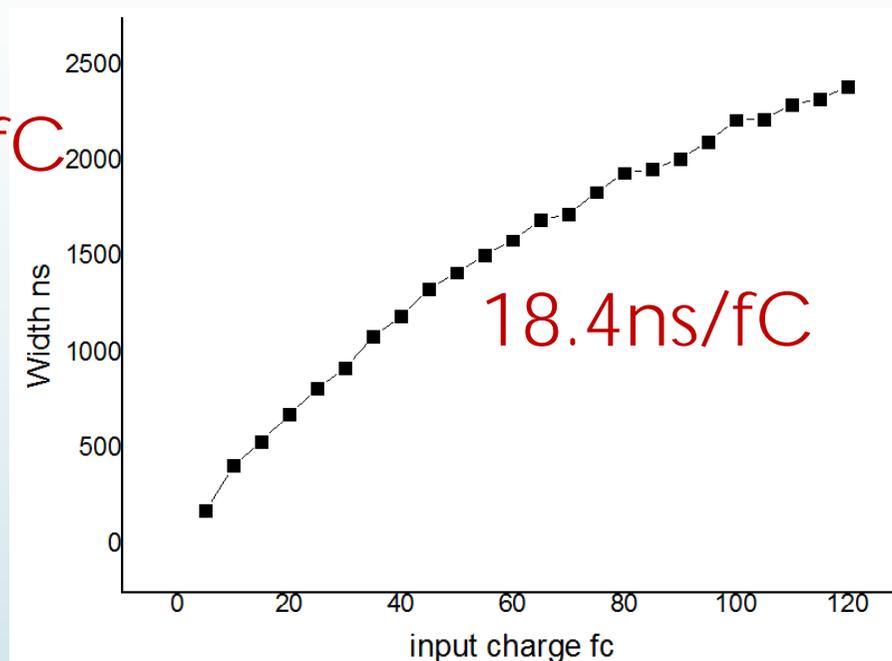
5~120fC输入，步长5fC

INL:

线性拟合: 9%

二次拟合: 2%

INL 仿真值: <3.5%



测试方法为多次测量求平均值

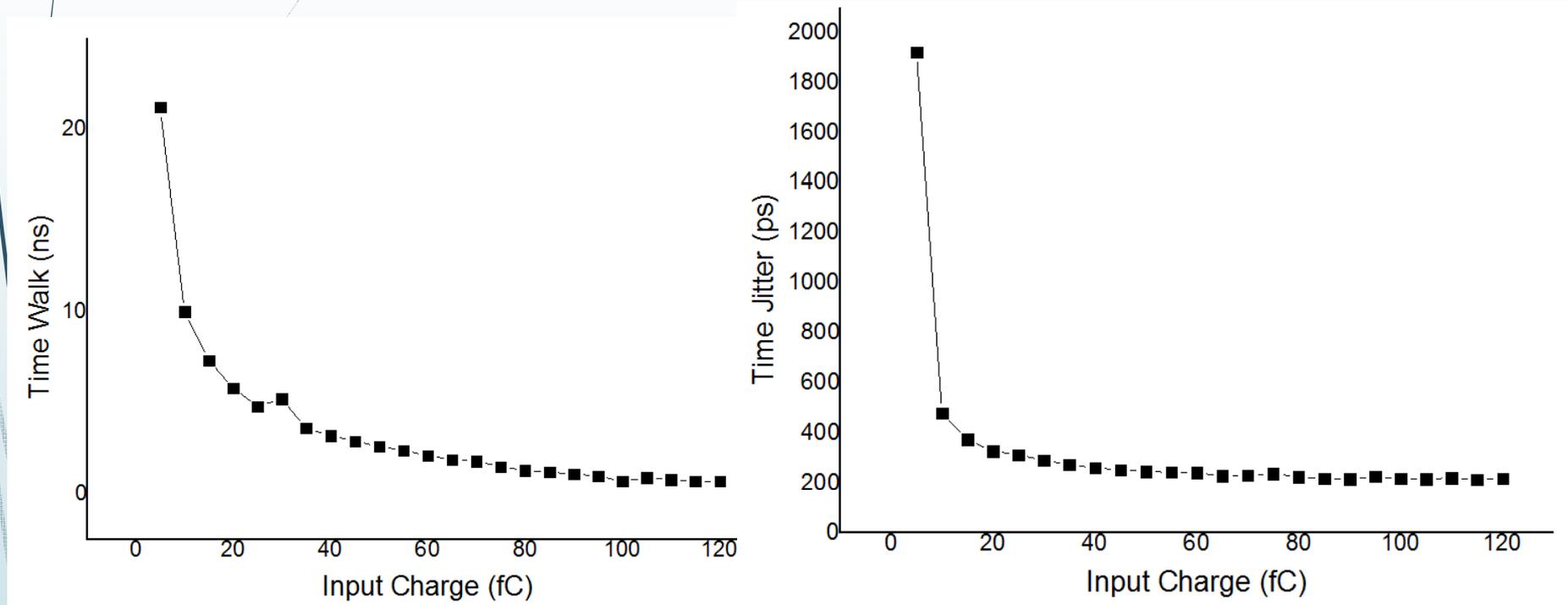
线性较设计值变差

原因:

甄别器迟滞问题、测试精度问题

可以用建立脉冲宽度vs输入电荷量的查找表的方法，提高精度

芯片测试---噪声及时间特性



前沿时间游动

基线RMS值2.8mV

粗略的拟合输出曲线，增益约22.6mV/fC

ENC: $2.8\text{mV}/\text{增益}=774 e^-$

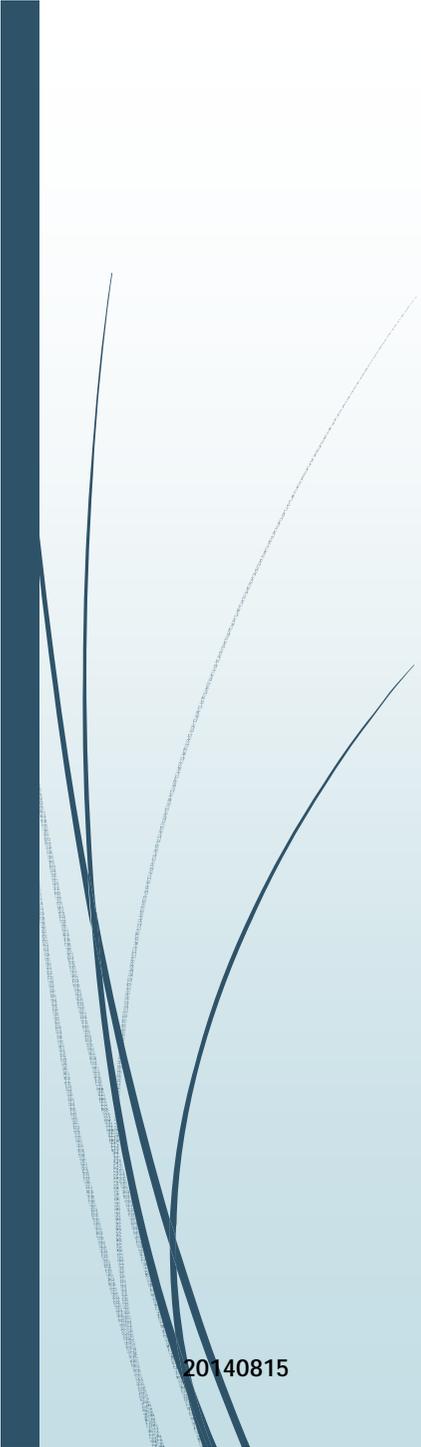
前沿时间晃动

测试总结

- ▶ TOT芯片性能指标基本达到了设计值
- ▶ 线性略差于设计值，需要在以后的芯片改版中进行优化
- ▶ 更多的工作：
 - ▶ 测试更多的芯片、更充分的测试
 - ▶ 连接探测器的测试

小结

- ◆ 芯片的动态范围、噪声性能等主要指标满足典型微结构气体探测器的需求
- ◆ 芯片特点：
 - ◆ 较好的时间性能
 - ◆ 单通道实现电荷量与时间的测量，
 - ◆ 较低的噪声
- ◆ 基于此芯片，并结合后端基于FPGA的TDC读出电路，可以实现电子学系统的小型化，该系统较传统电子学系统，将具有更低的造价



谢谢