

中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics, CAS

8月季度考核报告

中国科学院高能物理研究所

报告人：黄文豪 导师：叶竞波



指导老师：严雄波，李筱婷，李怀申

日期：2025.8.27

目录 ▶

1

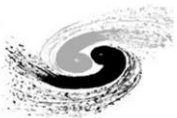
背景介绍

2

工作进展

3

总结



■ 定时探测器在粒子物理实验中的应用

- 在粒子物理实验中， e 、 μ 、 π 、 K 、 p 的速度是鉴别它们的关键物理量之一
- tracker系统（OTK、ITK、TPC）做径迹测量→动量 & 飞行时间→速度、质量→粒子鉴别
- 电子学系统50ps的时间分辨，可实现几GeV/c以下的 $p/K/\pi$ 的粒子鉴别

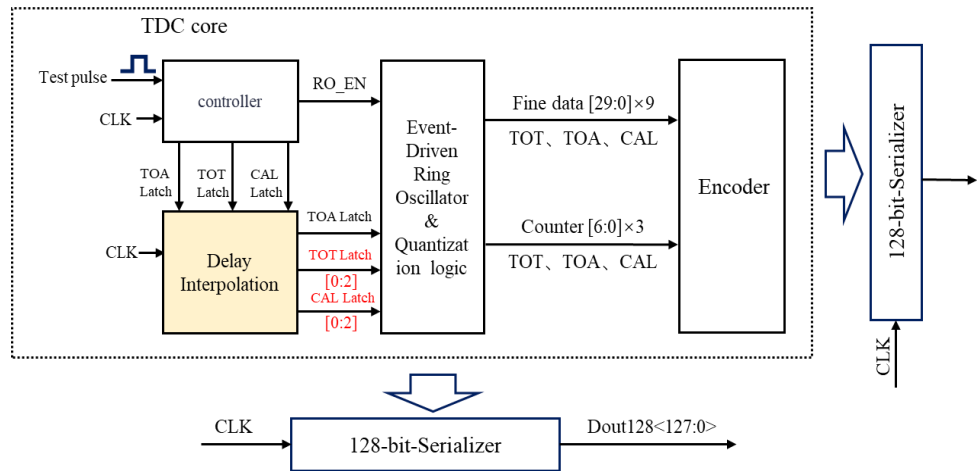
■ LATRIC

- LGAD 128通道时间测量读出芯片
- LATRIC0初步实现了30ps的时间测量分辨，基本能满足LGAD的时间测量需求
- 可以进一步通过时间交织技术，对某些信号进行时间上的内插，以实现更高精度的时间分辨

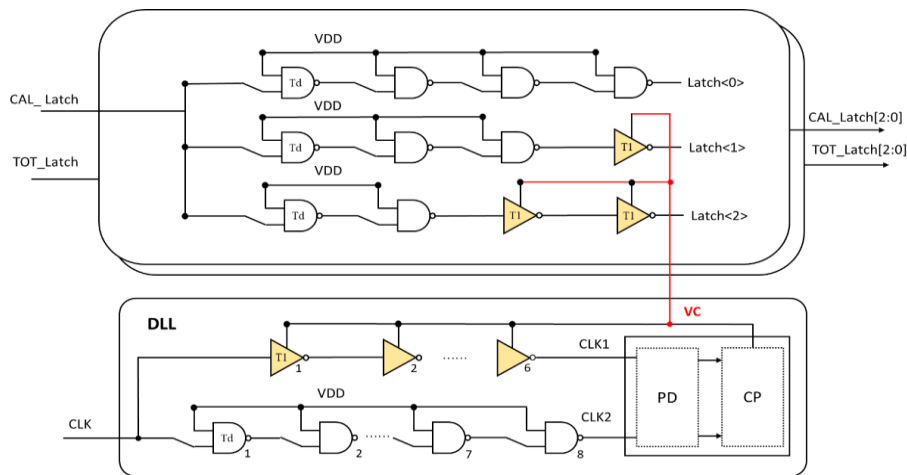
- **LATRICi**（在LATRIC0的基础上进行改进，对SR锁存器锁存信号进行3级内插，做10ps低功耗的TDC）

■ LATRICi介绍(王传烨指导)

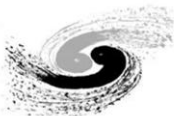
- TDC核——到达时间（TOA）和过阈时间（TOT）测量
 - 时序控制器
 - **Latch内插电路**
 - 事例驱动型环振及量化逻辑
 - 编码器
- 输出逻辑——测量结果输出
 - 输出 TOA_{code} 、 TOT_{code} 、 CAL_{code} 码字，即待测信号的量化结果
 - 两个128位串行器输出部分原始码与二进制码
- 在LATRIC0核心的基础上，对锁存器的latch信号通过压控延迟单元进行三级内插，锁存三次，可以使LATRIC0的时间分辨率提升三倍
- 内插延迟控制电路基于DLL原理实现，来为压控延迟单元提供合适的工作电压



LATRICi芯片的架构

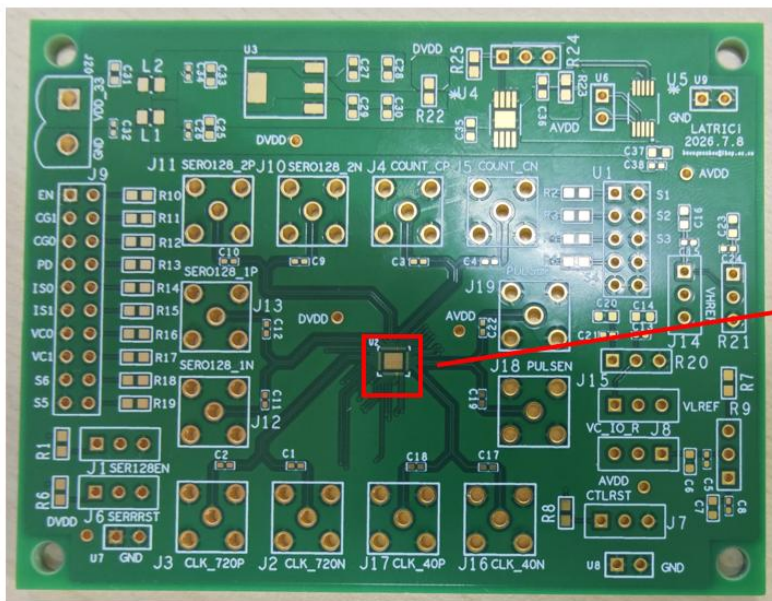


Latch内插电路的结构

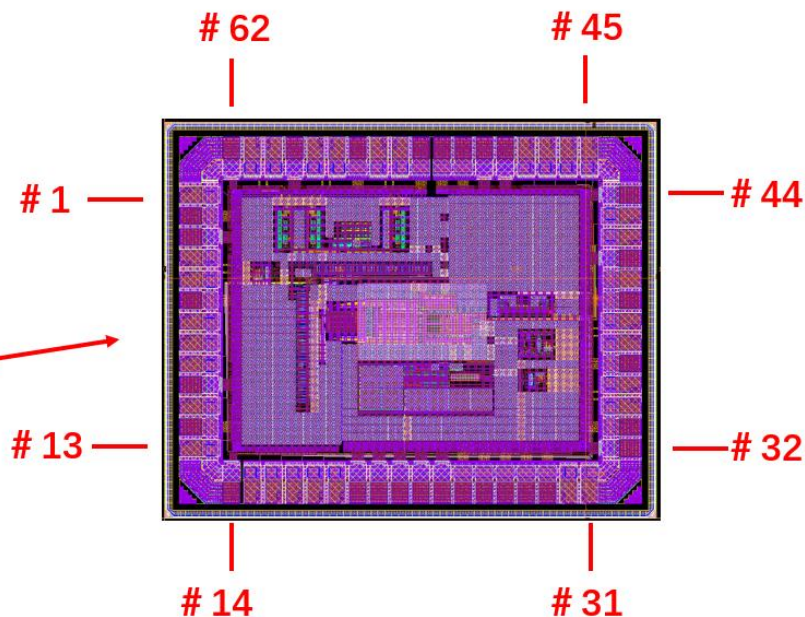


■ LATRICI测试版绘制

- 测试版尺寸：6*8cm
- 添加了电流检测芯片，可以测试TDC核心的功耗



LATRICi测试板



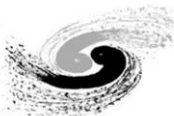
U2: Latrici 芯片
芯片尺寸: 1400um*1127um
Pad中心间距: 54um
开窗: 45um*51.3um

■ LATRICi测试环境

- 测试仪器：示波器，信号发生器，恒压源，时钟板。
- 测试方法：时钟版为**controller**，串行器，信号发生器提供时钟，示波器读取数据，笔记本程控自动扫描。
- Latrici通过调节压控延迟单元的电压控制内插的均匀度，电压提供有三种方案，一种利用**DLL**提供电压，一种利用**DAC**提供电压，最后一种利用外部电源给电压，后两种方式是为了**DLL**方案做备用。目前测试均使用的是**DLL**提供电压模式，测试没有问题。



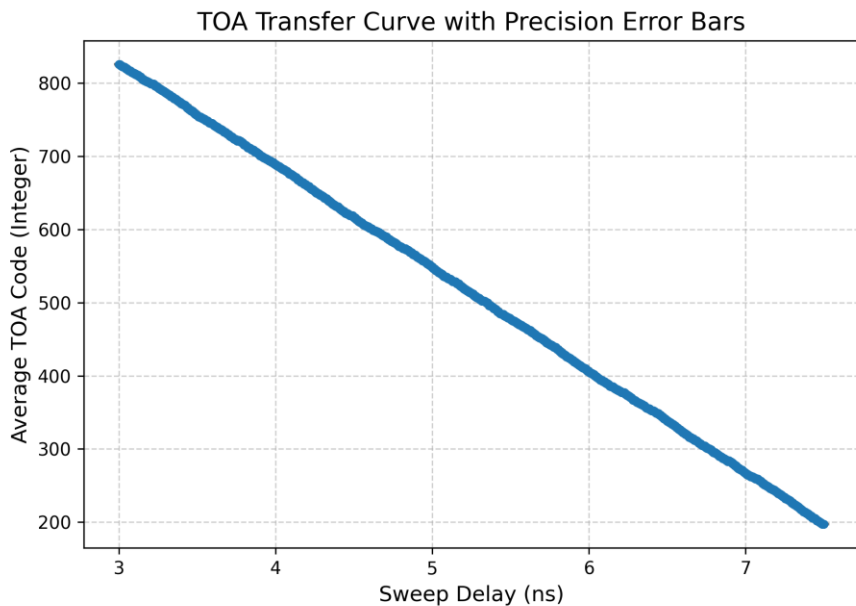
测试环境



■ LATRICi测试结果

➤ LATRICi转移曲线细扫描

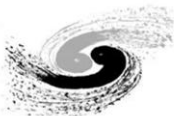
- 测试条件：事例率：20Mhz, controller时钟: 80Mhz, 串行器时钟: 720Mhz。输入信号共模600mV, 幅度1.2V。输入信号Delay从3ns扫到7.5ns, step: 2ps, 脉宽从3ns到7.5ns, step: 2ps 每个点测试1000次。
- 测试结果：TOA拟合 LSB: ~ 7.1 ps、TOT拟合 LSB: ~ 7.1 ps。
- 测试结果符合预期, 未发现丢码。



TOA转移曲线



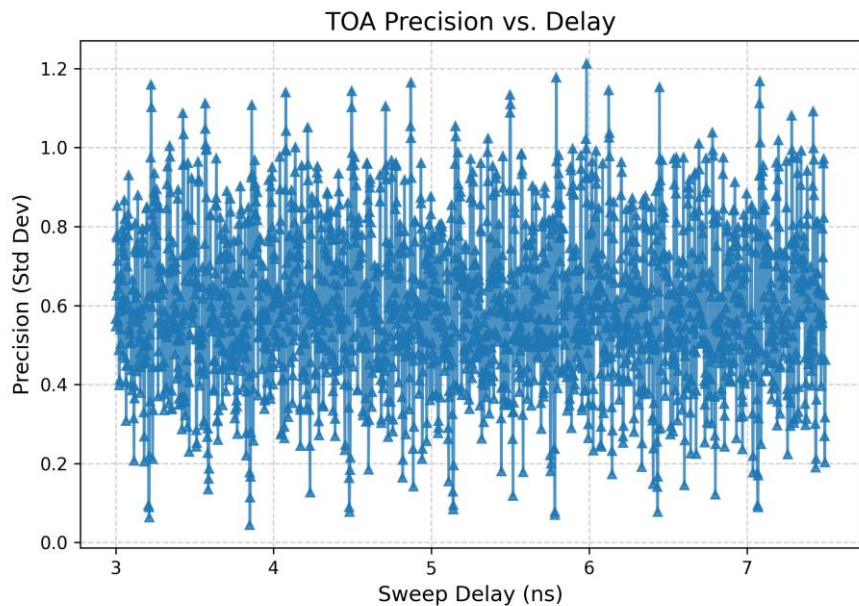
TOT转移曲线



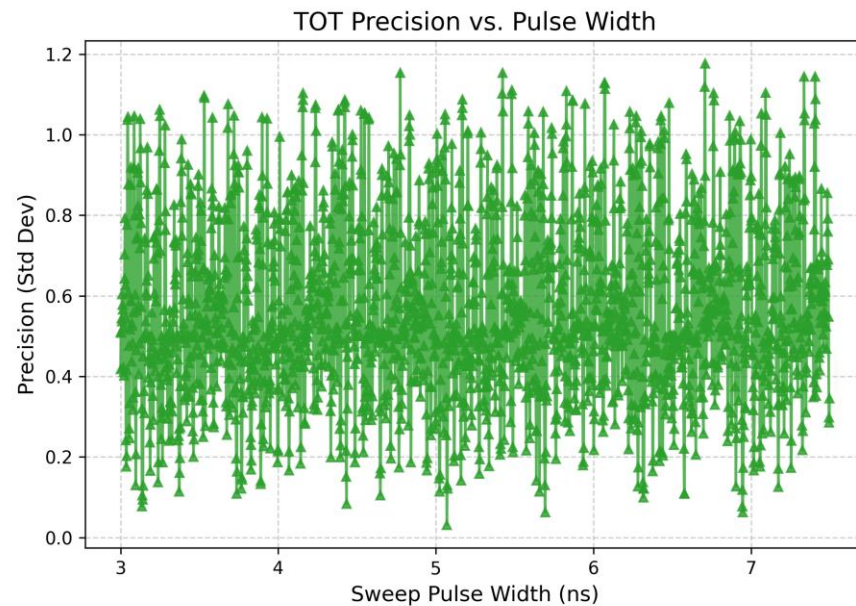
■ LATRICi测试结果

➤ LATRICi精度

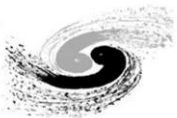
- TOA 精度范围：平均精度：0.6016 LSB、最差精度：1.2123 LSB。
- TOT 精度范围：平均精度：0.5692 LSB、最差精度：1.1760 LSB。
- TOT与TOA的精度测试良好，TOA平均精度~4.2ps，TOT平均精度~4ps，且无精度较差的点。



TOA精度



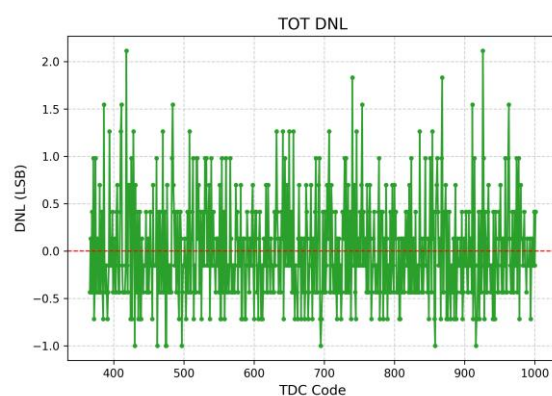
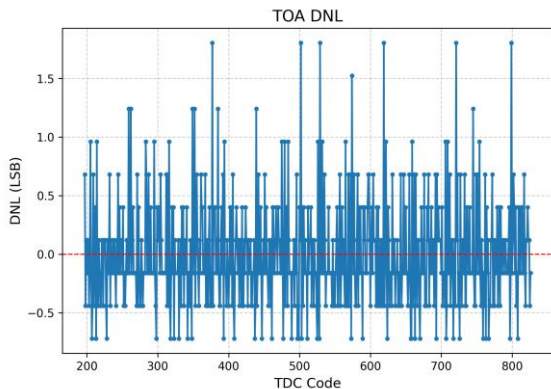
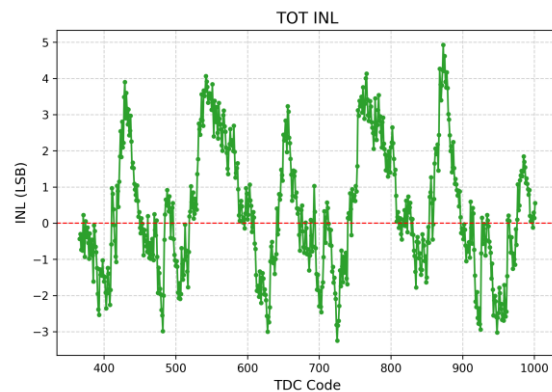
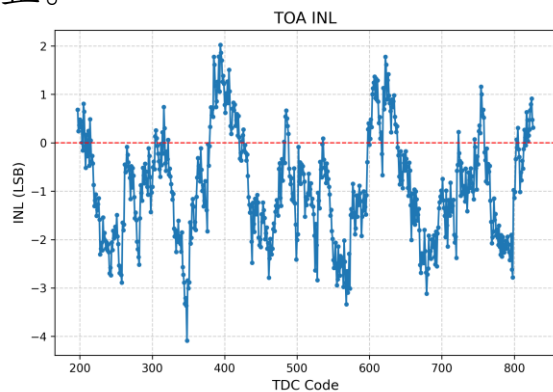
TOT精度



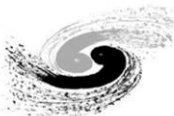
■ LATRICi测试结果

➤ 细扫描Latrici转移曲线的DNL和INL

- TOA INL 范围: $-4.086 \sim 2.020$ LSB、 DNL 范围: $-0.720 \sim 1.801$ LSB。
- TOT INL 范围: $-3.246 \sim 4.923$ LSB、 DNL 范围: $-1.000 \sim 2.112$ LSB。
- TOA的DNL小于2个LSB, TOT的最差DNL也接近2个LSB, TOT的INL存在较大的情况, 在实际使用时可以进行矫正。



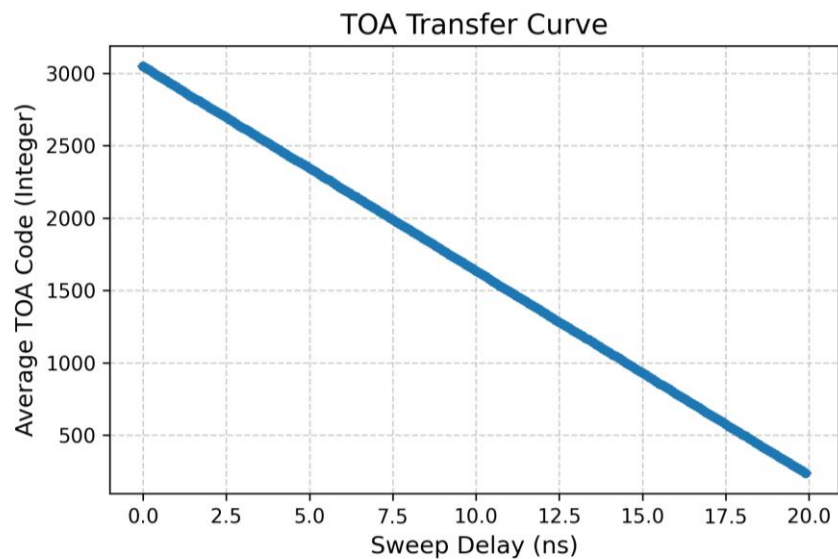
TOA和TOT的INL和DNL



■ LATRICi测试结果

➤ LATRICi转移曲线大范围扫描

- 对LATRICi的转移曲线进行了大范围扫描，输入信号的Delay从0扫到20ns，step: 100ps，脉宽从1ns到11ns，step: 50ps。
- 芯片功能正常，可用于实际应用。



➤ 已完成工作

- 完成LATRICi 芯片测试版的绘制。
- 完成LATRICi芯片的测试

➤ 后续计划

- 继续完善LATRICi芯片的测试
- 撰写LATRICi的文章

Thank You!