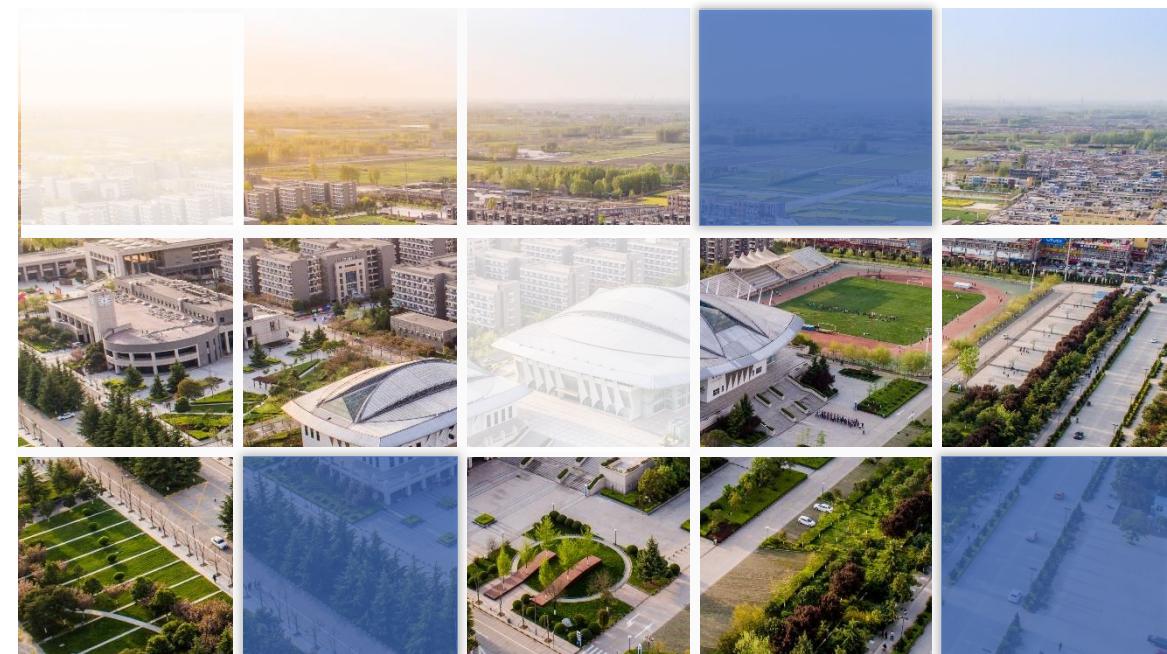


NTIMP1—A Fast Pulse Readout Chip with 1.2V Power Supply for Time-of-Flight Measurement in HFRS of HIAF

汇报人：郑然
zhengran@nwpu.edu.cn
18991248863

科研团队：胡永才 王佳 魏晓敏
薛菲菲 赵瑞光 赵子歲

2023.05.12
西北工业大学微电子学研究所



报告内容

CONTENTS



1

背景需求

2

关键设计

3

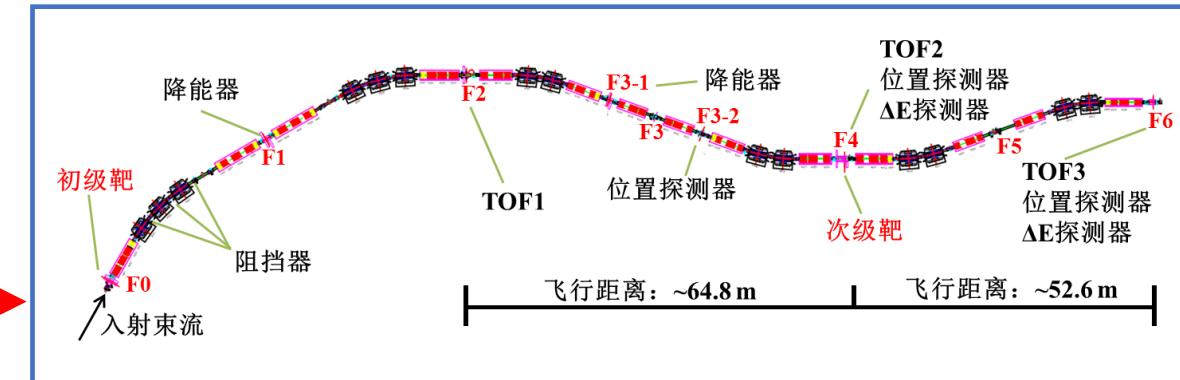
芯片验证结果

1 背景需求

□ 强流重离子加速器装置 (HIAF)



弹核碎裂型次级束流装置 (HFRS)



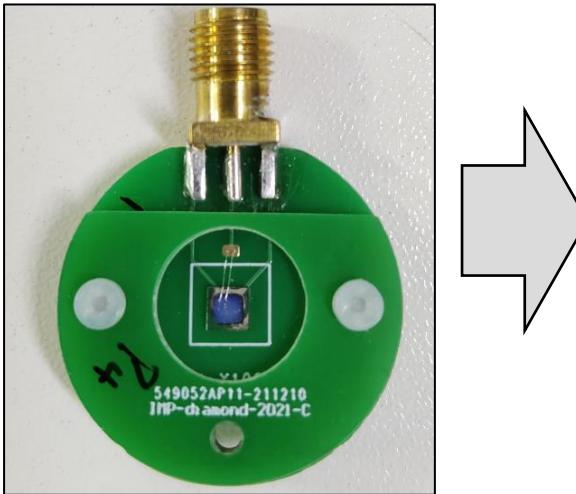
在HFRS上采用B β -TOF- Δ E法实现粒子鉴别：

- ✓ Δ E探测器：获取粒子的能损信息；
- ✓ 位置探测器：获取粒子的磁刚度信息；
- ✓ TOF探测器：获取粒子的飞行时间信息；

要求优于40 ps的时间分辨能力,以
鉴别较重较快的碎片

1 背景需求

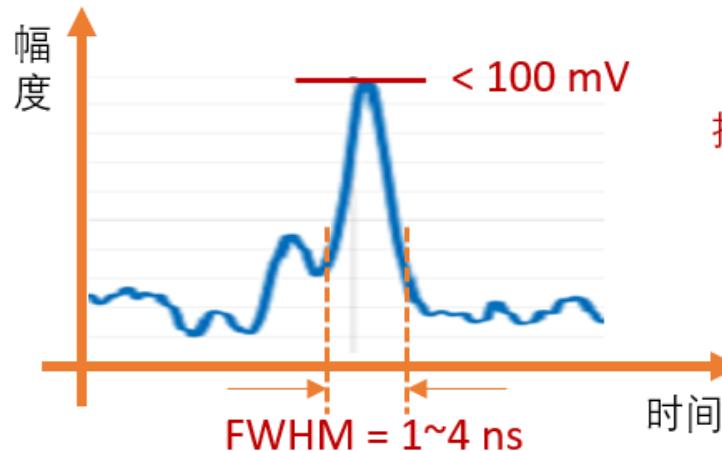
口 金刚石探测器的信号特征（近物所提供）



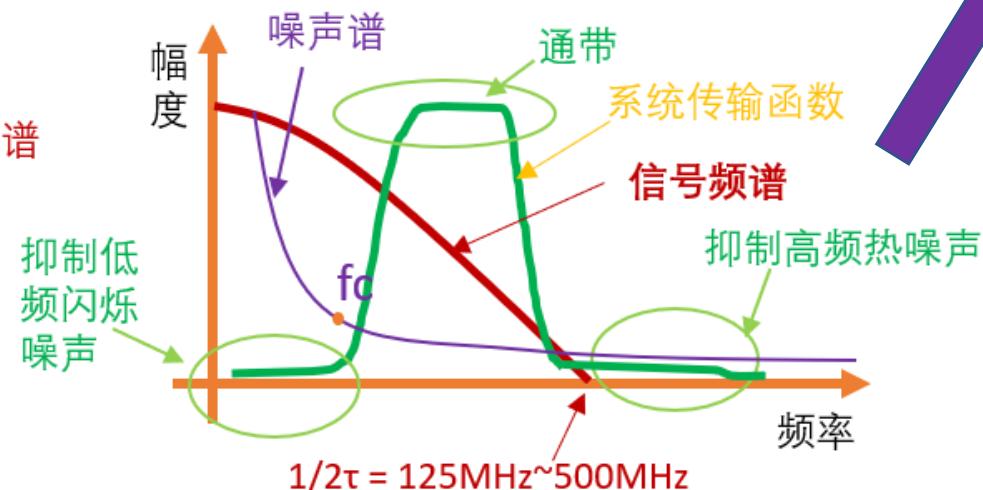
金刚石探测器的优势：

- ✓ 高载流子迁移率，适合用于时间探测
- ✓ 抗高温，适合高温环境工作
- ✓ 抗辐射，适合于空间及地面辐射环境
- ✓ 导热率高，适合集成大型探测器系统

滤波设计：
带通 (2M~500M)
噪声优化对象：
热噪声



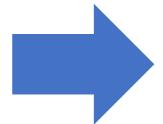
按门信号近似得到频谱
 $\tau = 1 \sim 4 \text{ ns}$



亚微米下， $f_c=50 \text{ kHz} \sim 1 \text{ MHz}$

报告内容

CONTENTS



1

背景需求

2

关键设计

3

芯片验证结果

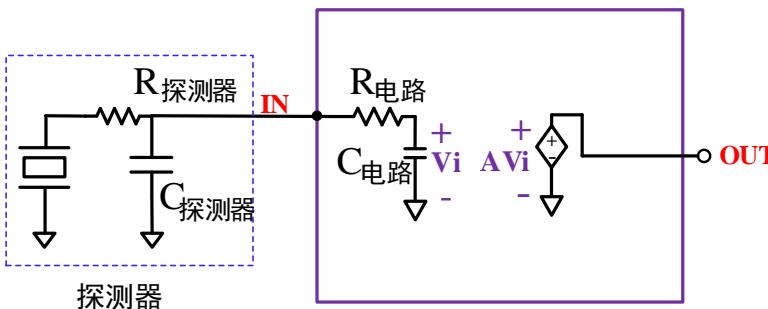
2 关键设计

□ 前端电路模式选择

电压模式:

$$R_{\text{探测器}} \ll R_{\text{电路}}$$

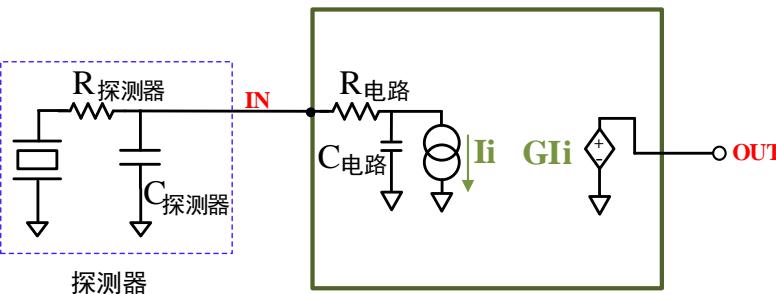
探测器电流向电路节点积分形成电压。



电流模式:

$$R_{\text{探测器}} \gg R_{\text{电路}}$$

探测器电流被电路快速检测并输出。



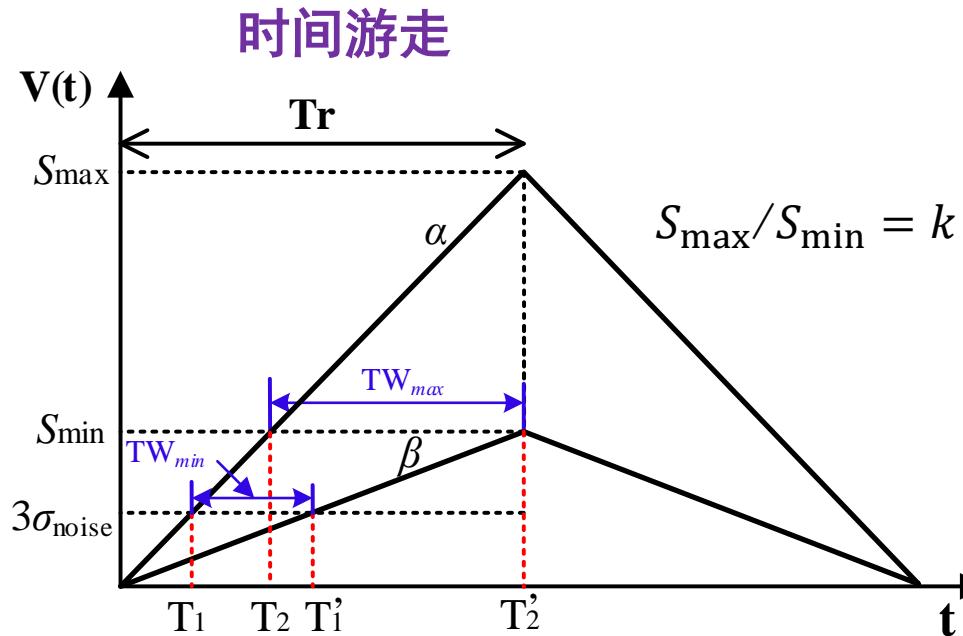
✓ 电路不存在大的RC节点

✓ 信号上升时间快，适合低抖动时间检测。



2 关键设计

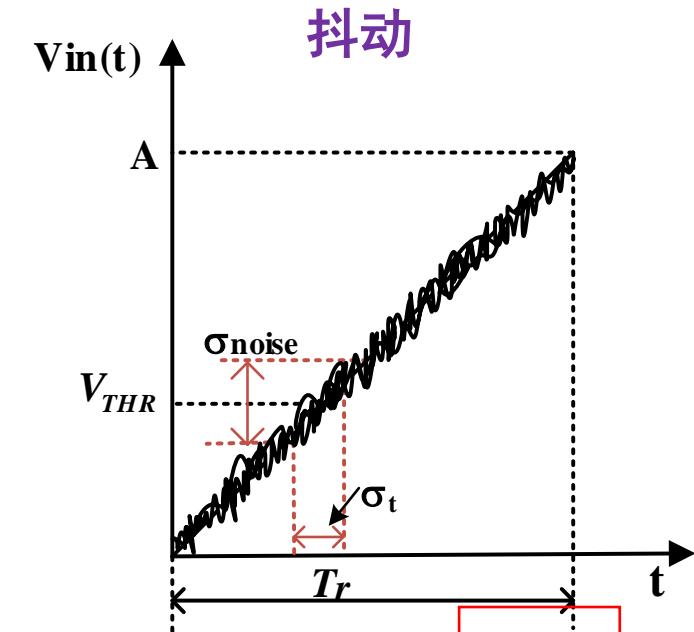
□ 时间游走及抖动



$$TW_{max} = T_r \left(1 - \frac{1}{k} \right)$$

$$TW_{min} = 3T_r \frac{1}{SNR_{min}} \left(1 - \frac{1}{k} \right)$$

从电路设计的角度, $T_r \searrow$ noise \searrow 可减小时间游走。



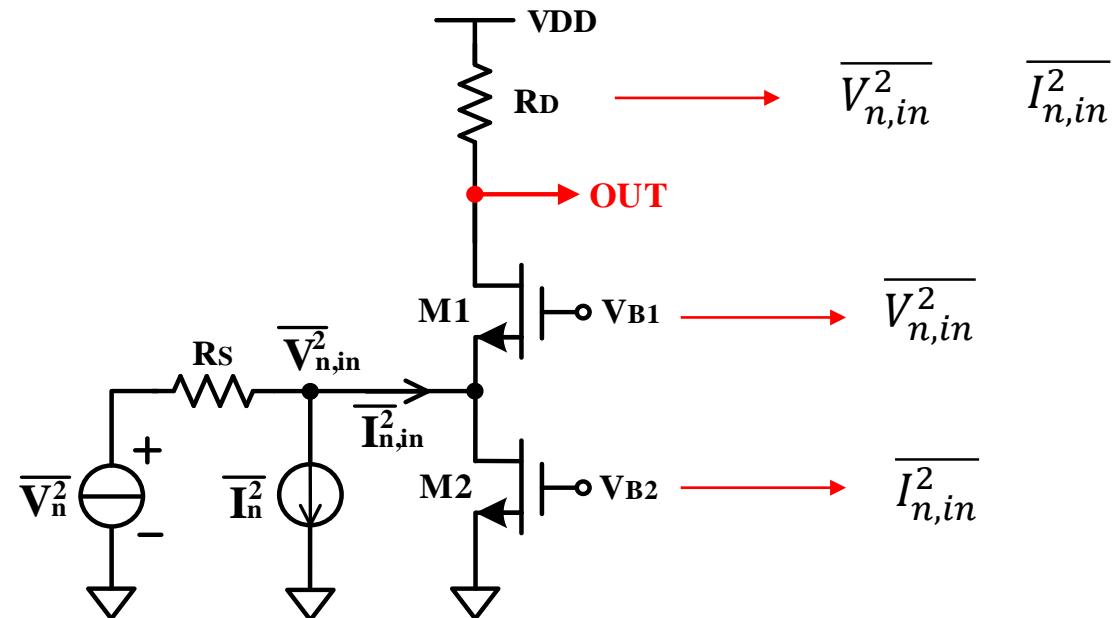
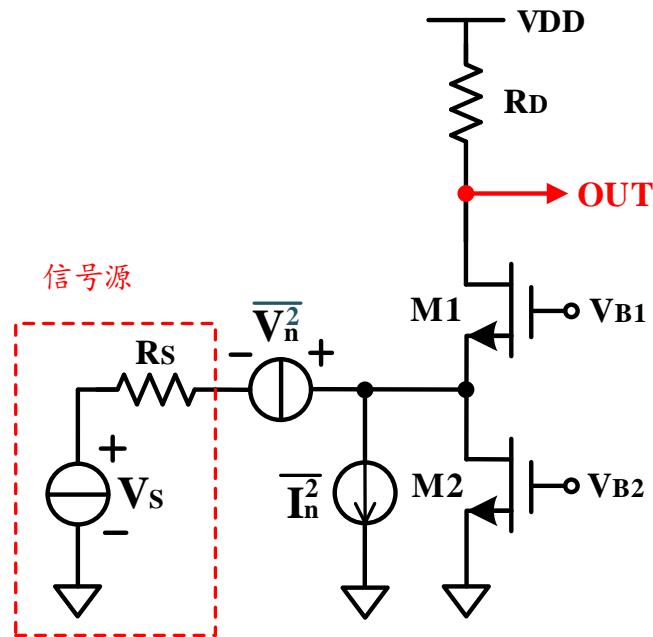
$$\sigma_{sys} = \sigma_t + \sigma_{other} = \boxed{\frac{\sigma_{noise}}{A/T_r}} + \sigma_{other}$$

考虑单极点, 热
噪声近似得到 $\frac{\sigma_{noise}}{A/T_r} = 0.35 * \frac{\sigma_{n,ther}}{A * \sqrt{BW}}$

$T_r \searrow$ BW \nearrow 热噪声 \searrow 可减小抖动。

2 关键设计

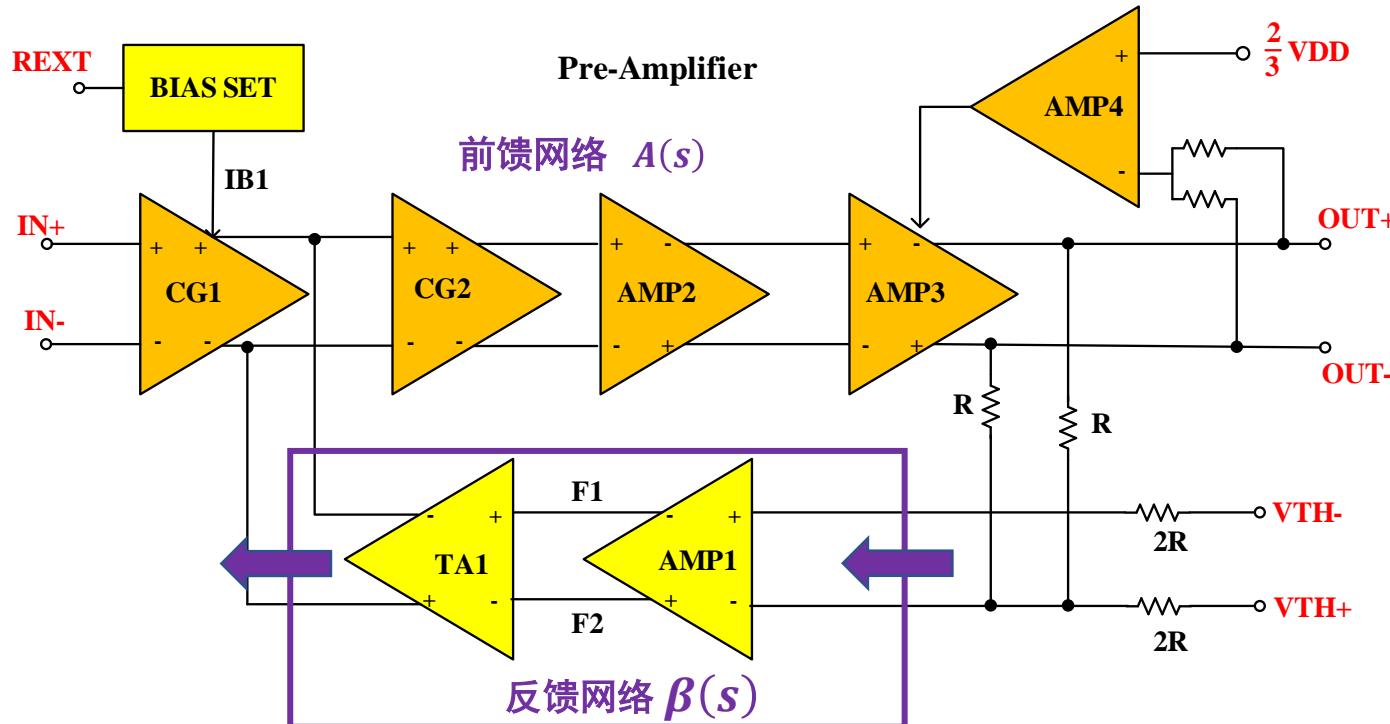
□ 低噪声设计



$$ENC^2 = \left(\frac{\overline{V_{n,in}^2}}{R_{IN}} + \overline{I_{n,in}^2} \right) \times \tau_S^2 \times \Delta f \quad \rightarrow \quad ENC^2 = kT \left(\frac{\gamma}{g_{m1}} + \frac{1}{g_{m1}^2 R_D} + \gamma g_{m2} + 1/R_D \right) \times \tau_S^2 \times \Delta f$$

2 关键设计

□ 前放滤波设计

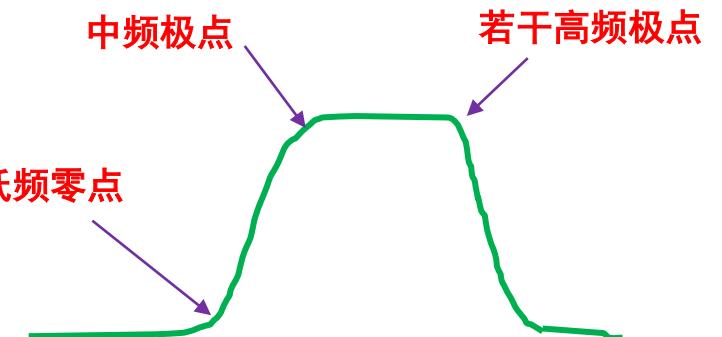


$$H(s) = \frac{A_{CG1}(s)A_{CG2}(s)A_{AMP2}(s)A_{AMP3}(s)}{1 + A_{CG2}(s)A_{AMP2}(s)A_{AMP3}(s)A_{TA1}(s)A_{AMP1}(s)}$$

前馈通路增益远大于1

$$H(s) = \frac{A_{CG1} * (1 - s/P_{AMP1})}{A_{TA1} * A_{AMP1}}$$

低频零点



AMP1 贡献低频零点、中频极点，
AMP2, AMP3 贡献高频极点。

简化反馈系统：

$$H(s) = \frac{A(s)}{1 + \beta(s)A(s)}$$

令低频 $\beta(s)$ 较大，

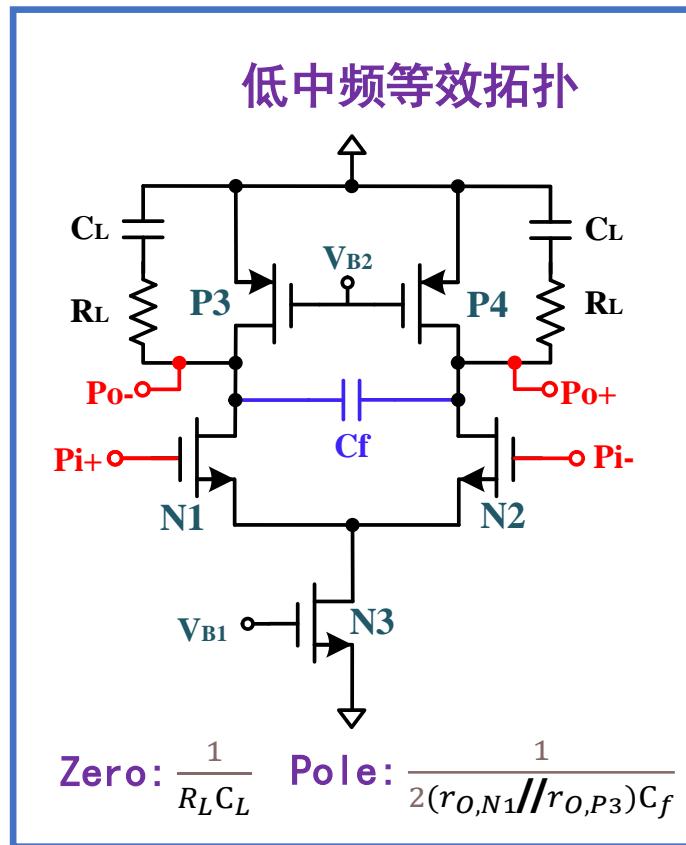
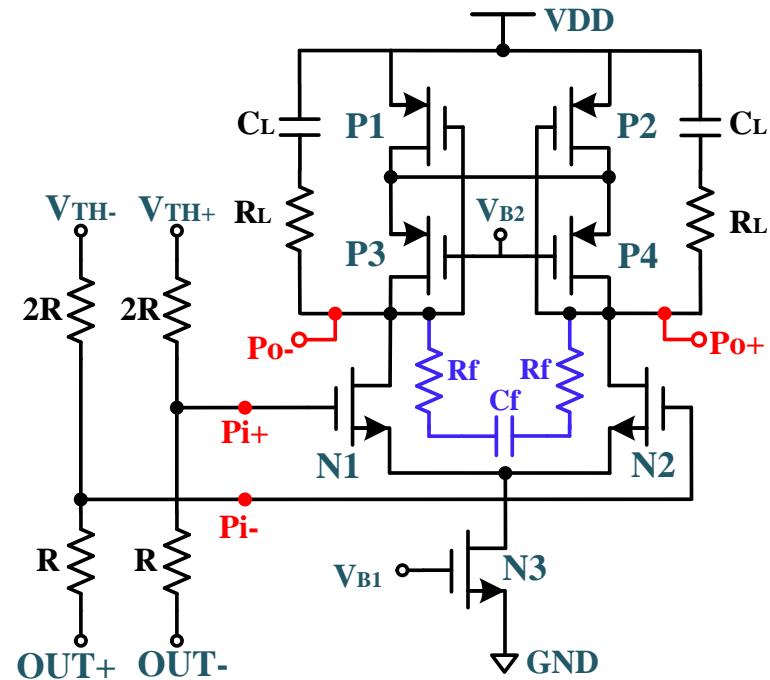
$H(s) \approx 1/\beta(s)$ → 低频阻带

令中高频 $\beta(s)$ 较小， $\beta(s)A(s) \ll 1$

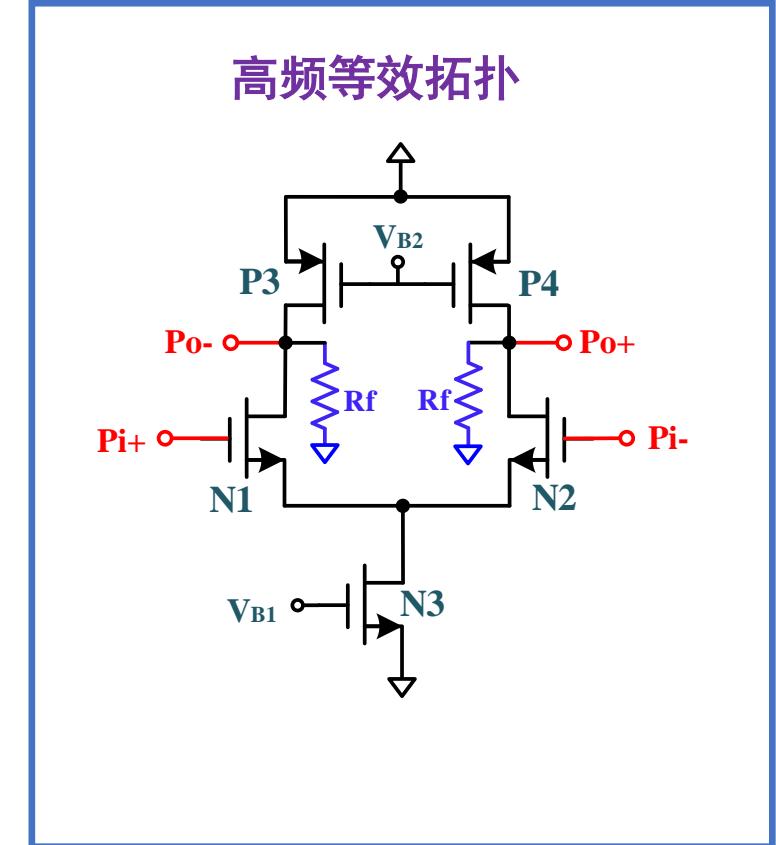
$H(s) \approx A(s)$ → 中高频通带

2 关键设计

□ AMP1的动态拓扑设计



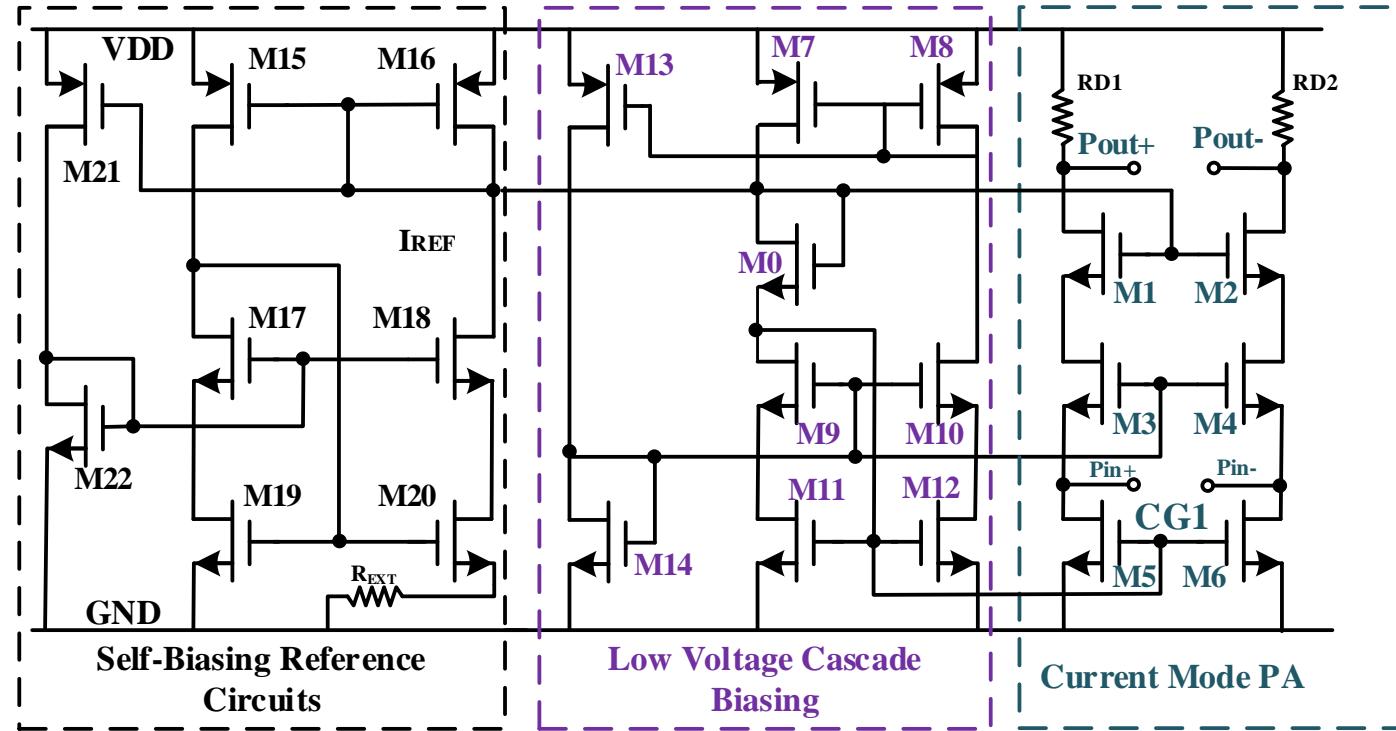
低频增益 (20–30)
 $A_V \approx g_{m,N1}(r_{O,N1} \parallel r_{O,P3})$



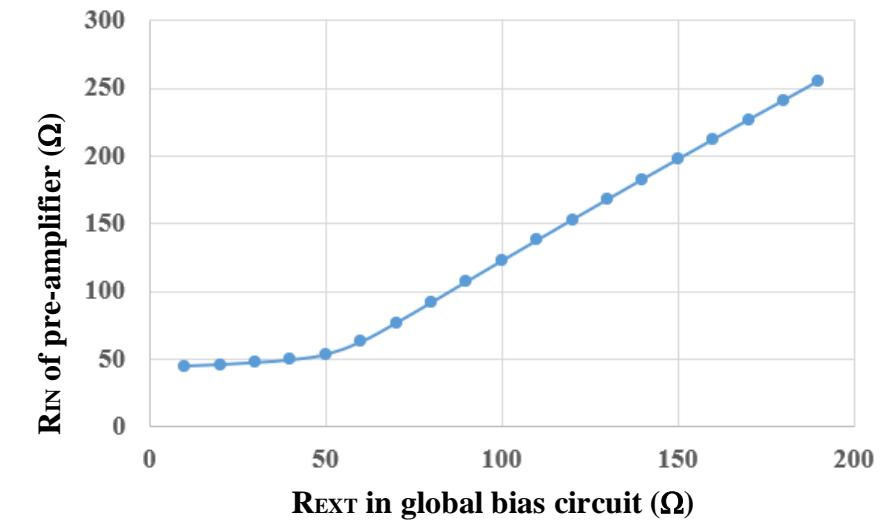
高频增益 (小于0.1)
 $A_V \approx g_{m,N1} R_f$

2 关键设计

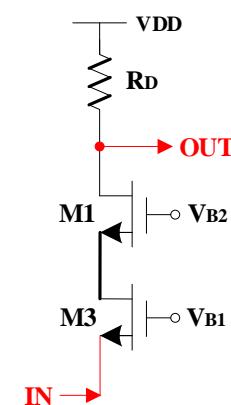
□ 输入阻抗外部可调



$$R_{IN} = \frac{1}{g_{m3}} = \frac{R_{EXT}}{2\sqrt{\frac{M3 * M5 * M8}{M19 * M11 * M16}} * (1 - \sqrt{\frac{M19}{M20}})}$$



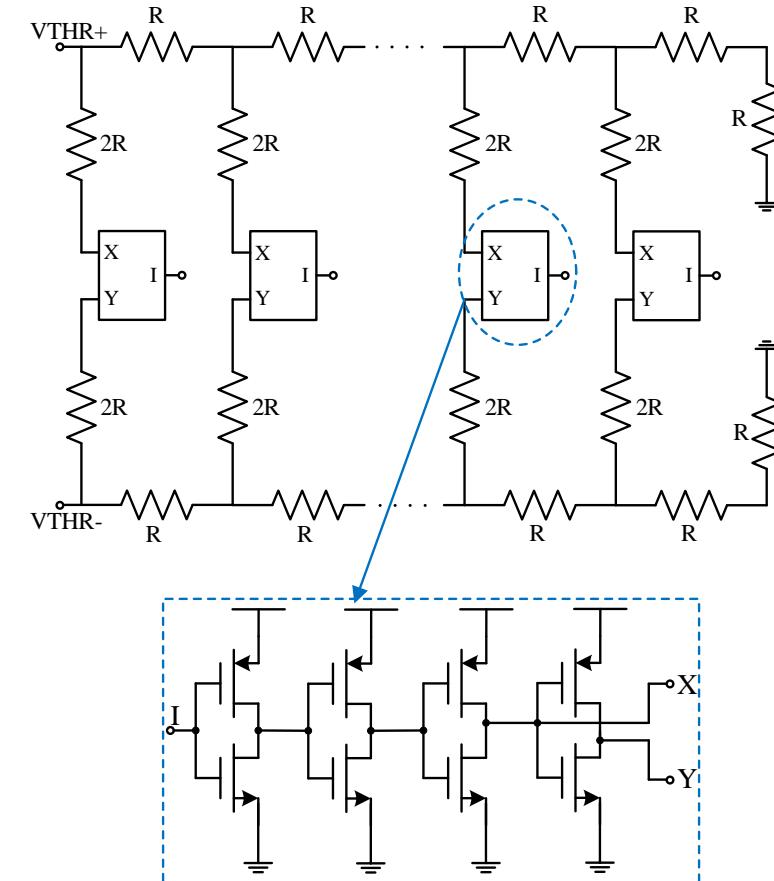
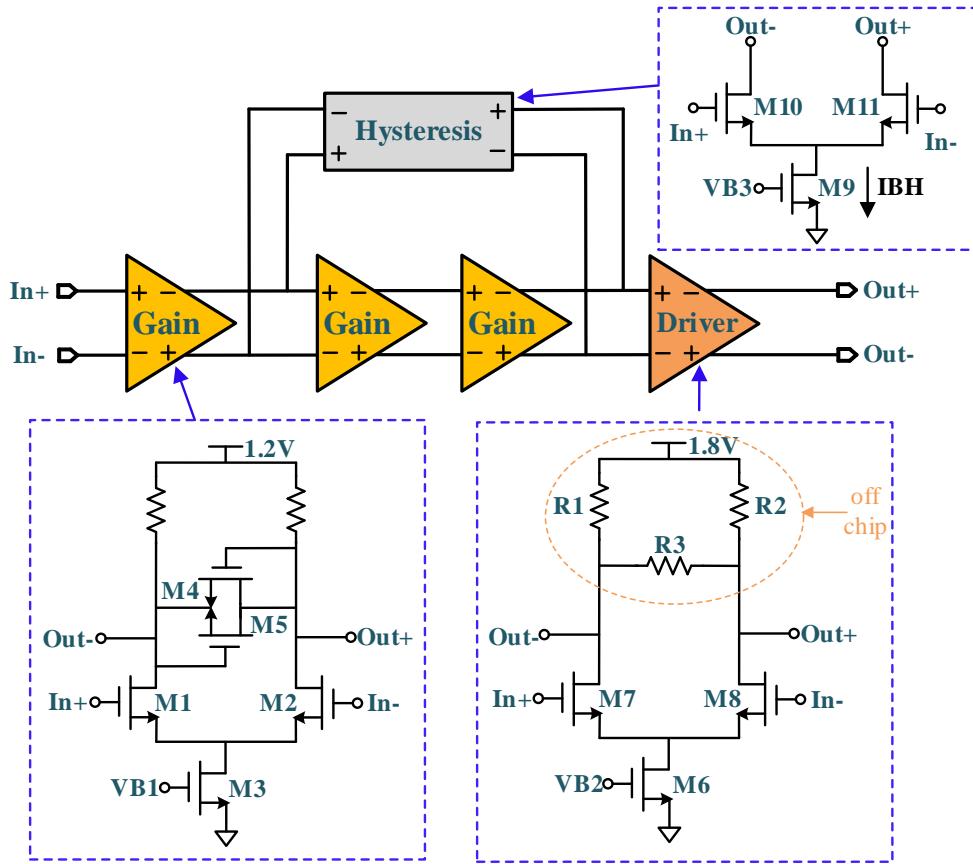
$$R_{IN} = \boxed{\frac{R_D}{g_{m1}r_{o1}g_{m3}r_{o3}}} + \frac{1}{g_{m3}}$$



共栅级联结构：
减小R_D的影响
提高阻抗匹配精度

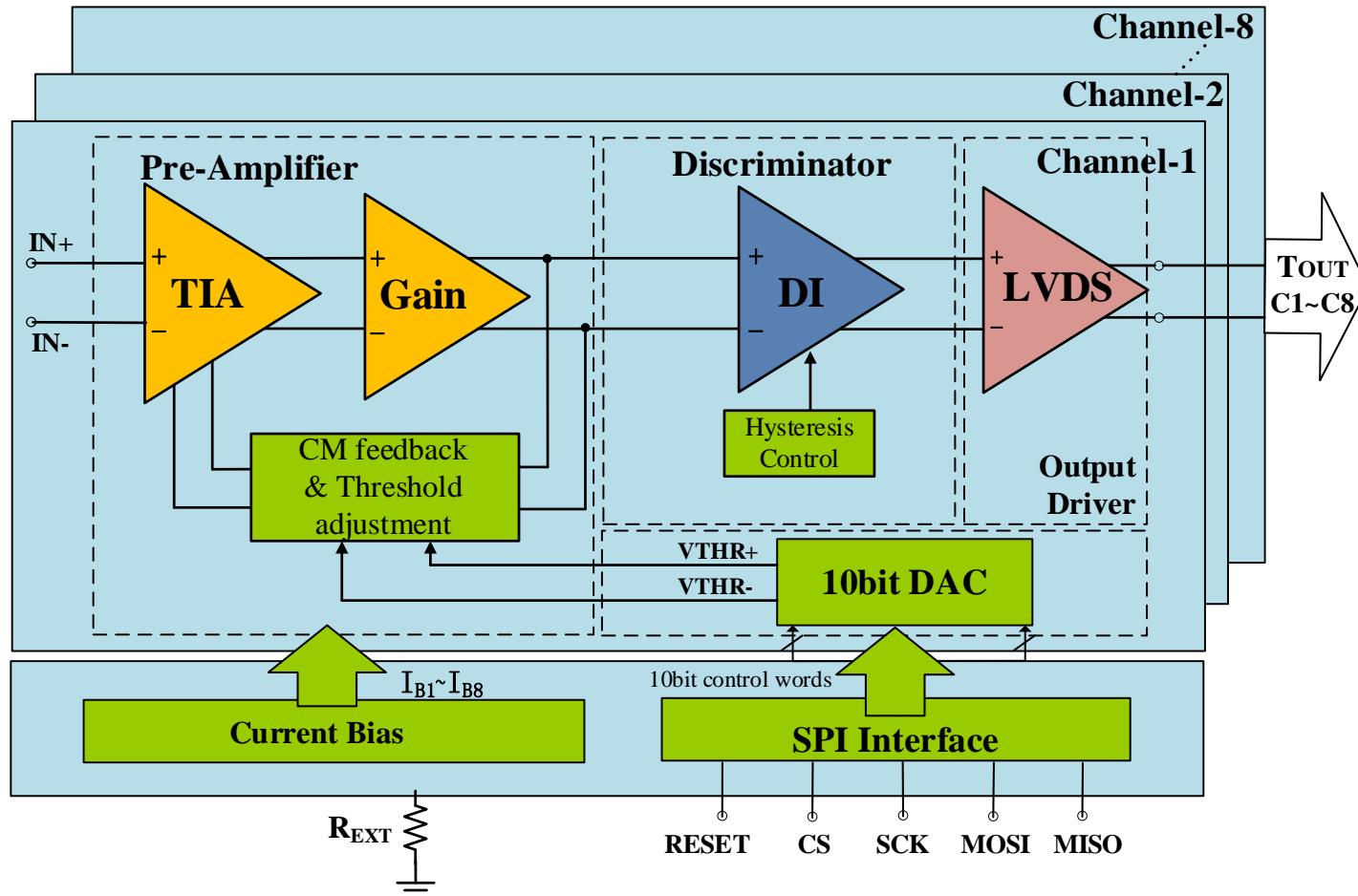
2 关键设计

□ 迟滞比较器/开漏LVDS/差分 R-2R DAC



2 关键设计

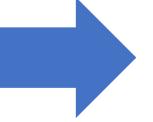
□ 芯片结构



- 8读出通道
- 输入阻抗外部可调
- 高速、低噪声前置放大器
- 单通道独立可调阈值
- 高速迟滞比较器
- 开漏LVDS发送器

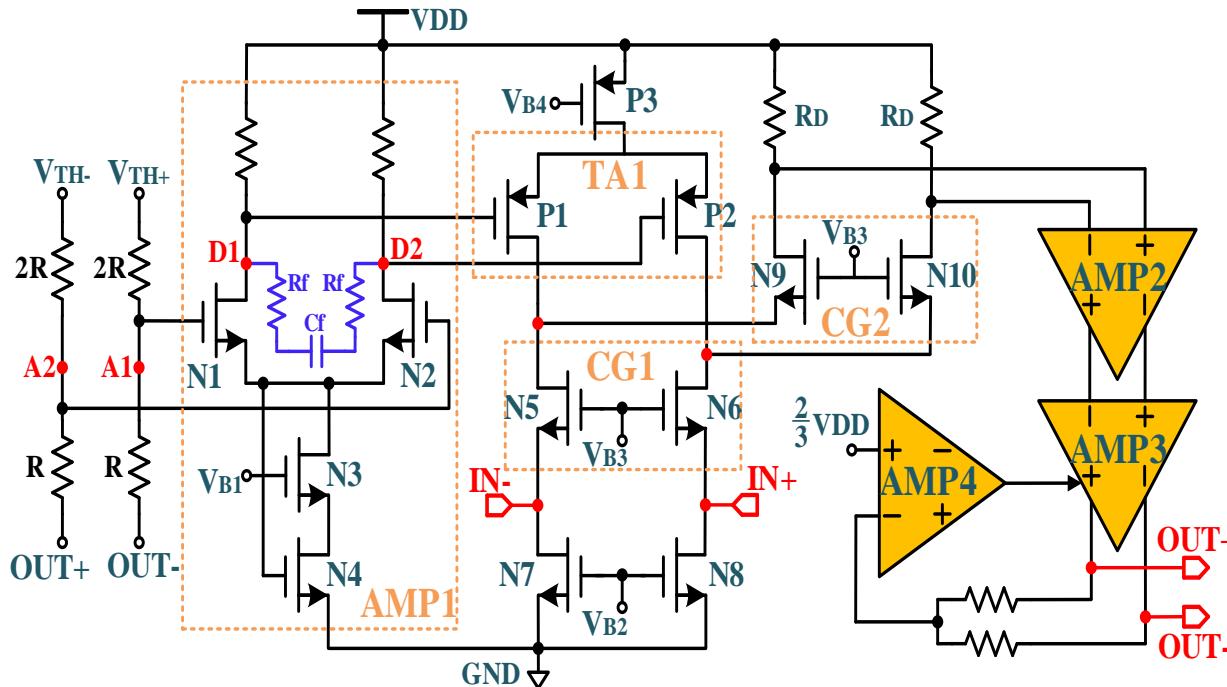
报告内容

CONTENTS

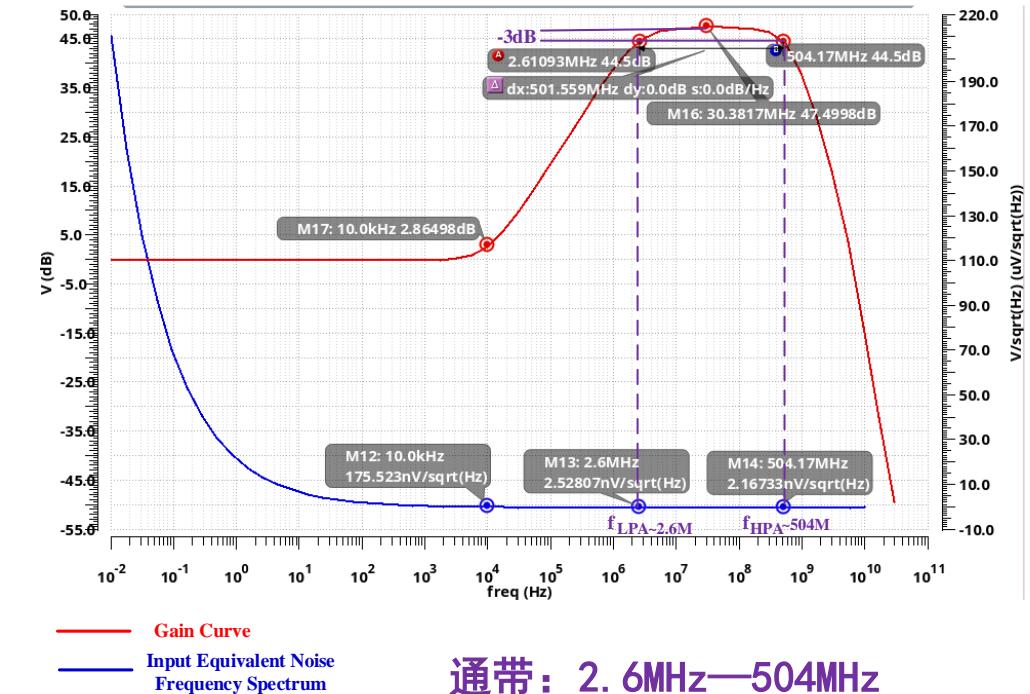
- 
- 1 研究背景
 - 2 芯片结构与分析
 - 3 芯片验证结果

3 芯片验证结果

□ 前放拓扑



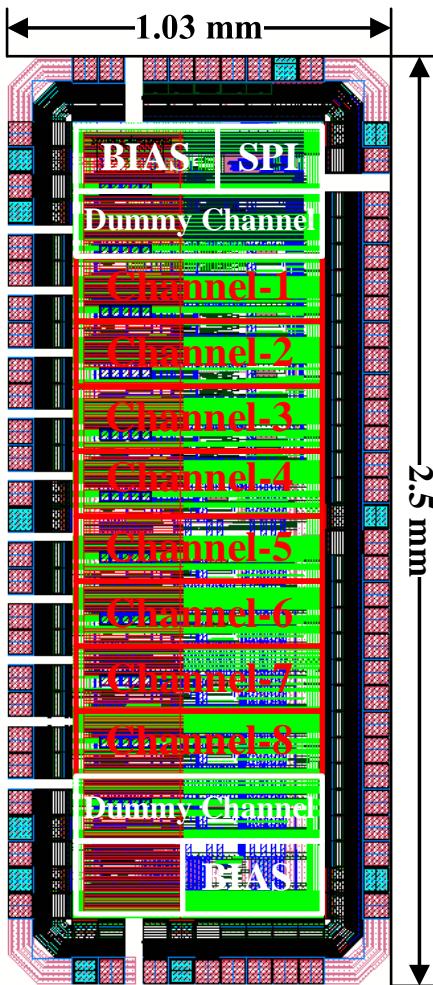
□ 传输特性仿真



通带：2.6MHz—504MHz

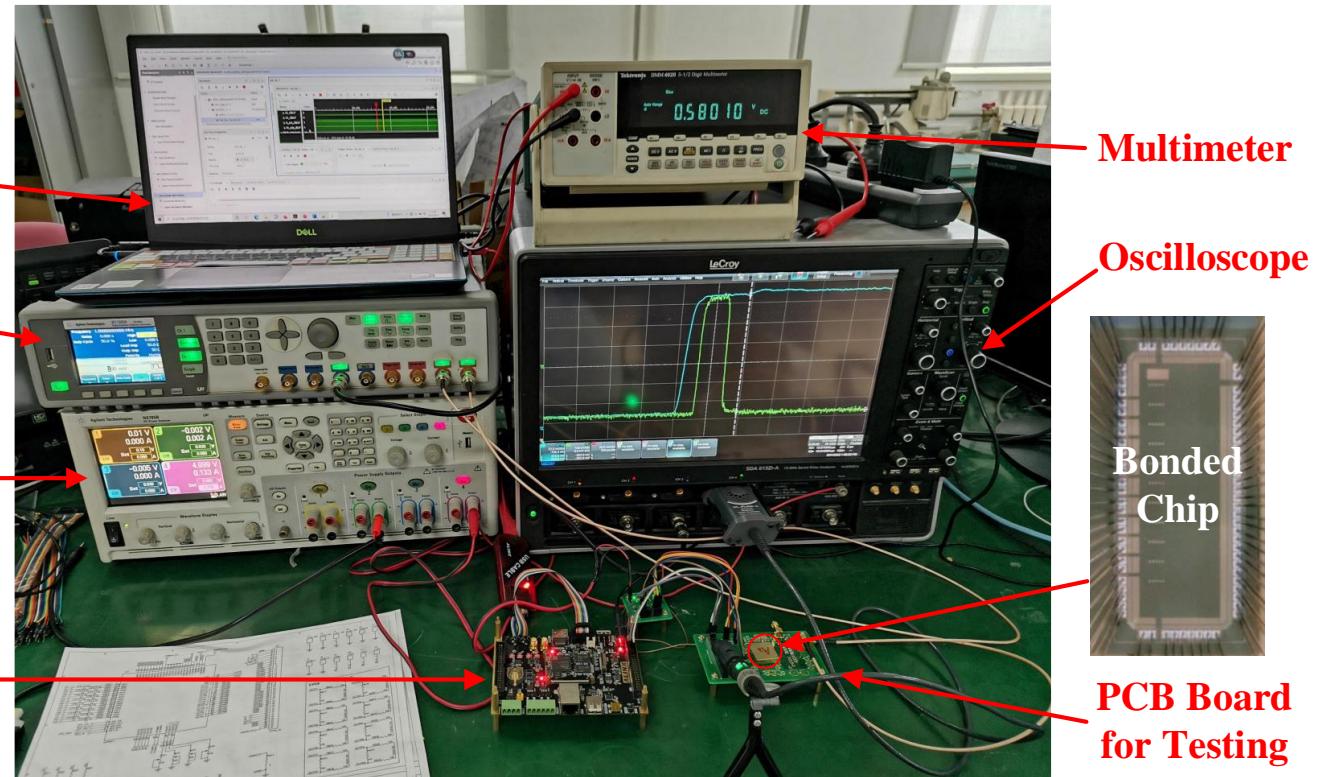
3 芯片验证结果

□ 芯片版图



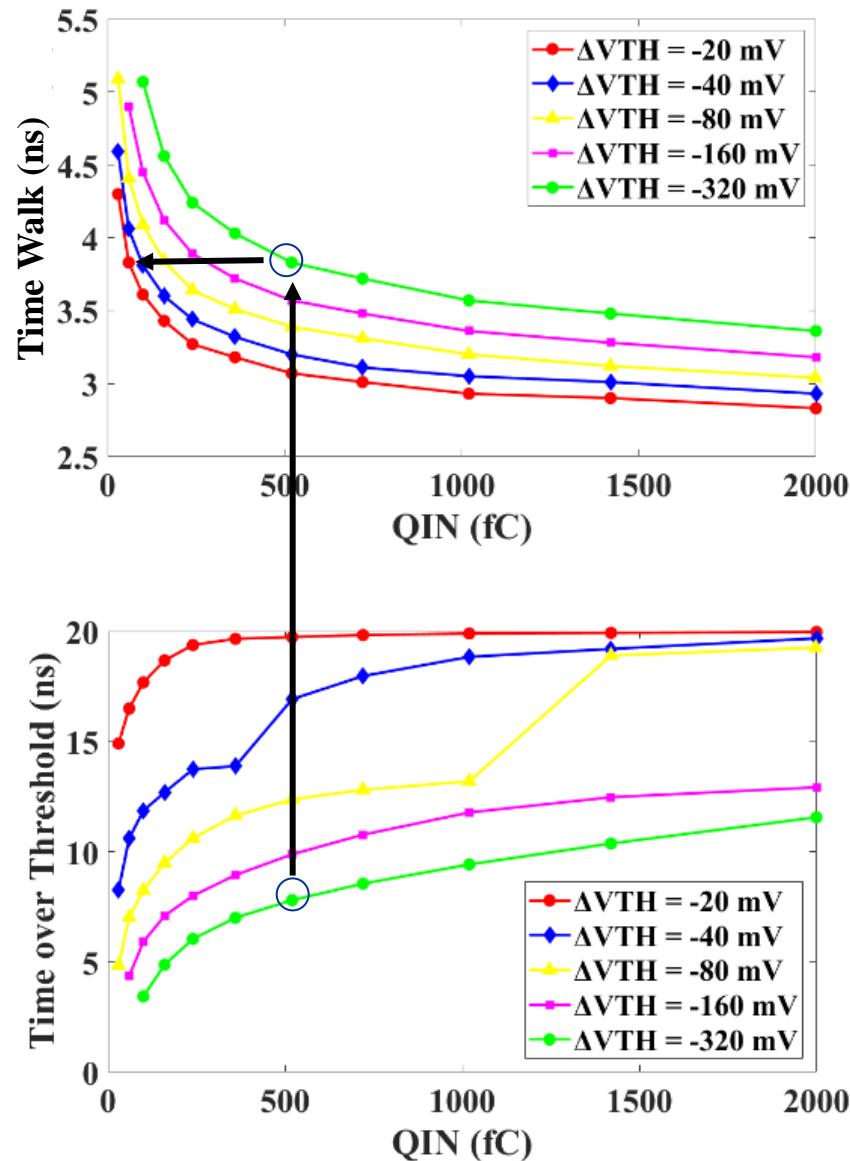
□ 测试系统

Upper Computer
Function Generator
Power Supply
FPGA for Control

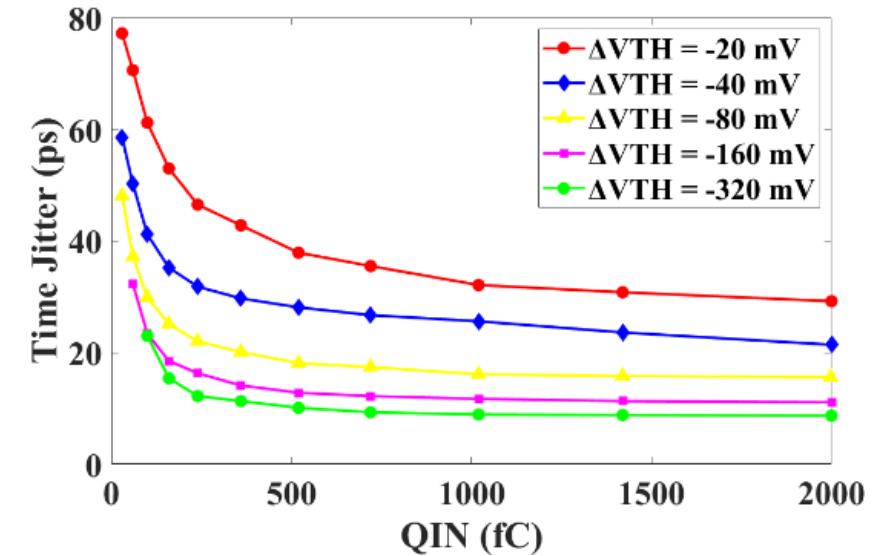


3 芯片验证结果

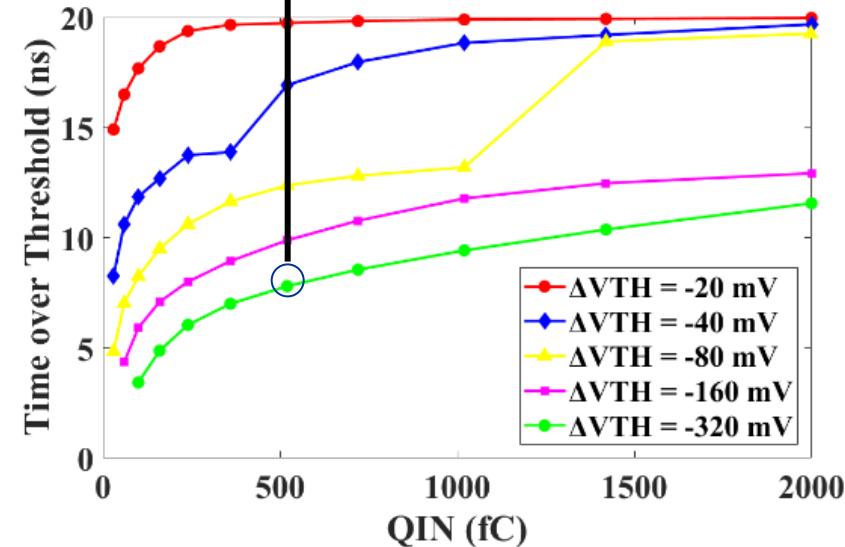
● TW



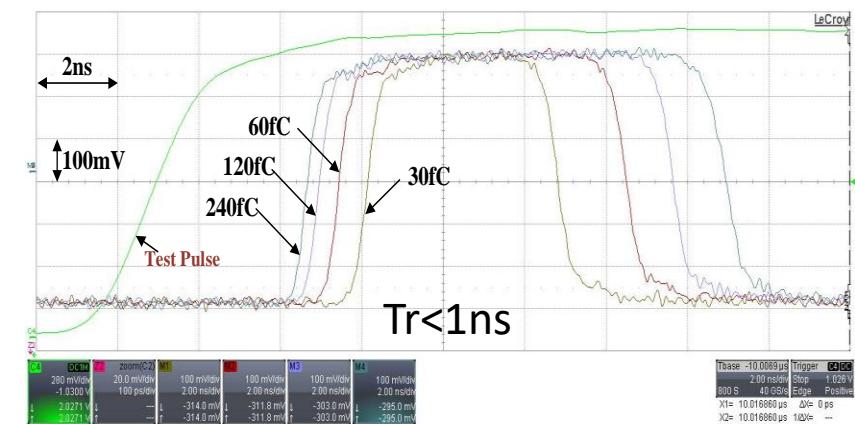
● Jitter



● TOT



● Tr



3 芯片验证结果

Parameters	NINO ^[2]	PADI-2 ^[3]	PADI-8 ^[4]	This work
Process	CMOS 250 nm	CMOS 180 nm	CMOS 180 nm	CMOS 130 nm
Channels	8	4	8	8
ENC (e ⁻ , rms)	<5000	1753	1145	1800
Input Impedance (Ω)	40-75	37-370	30-160	50-200
Front Edge Jitter (ps, rms)	<25	<50	<25	<15*
Power				
Dissipation (mW/Channel)	27	17.4	17	6.1**

*With $Q_{in} > 100fC$.

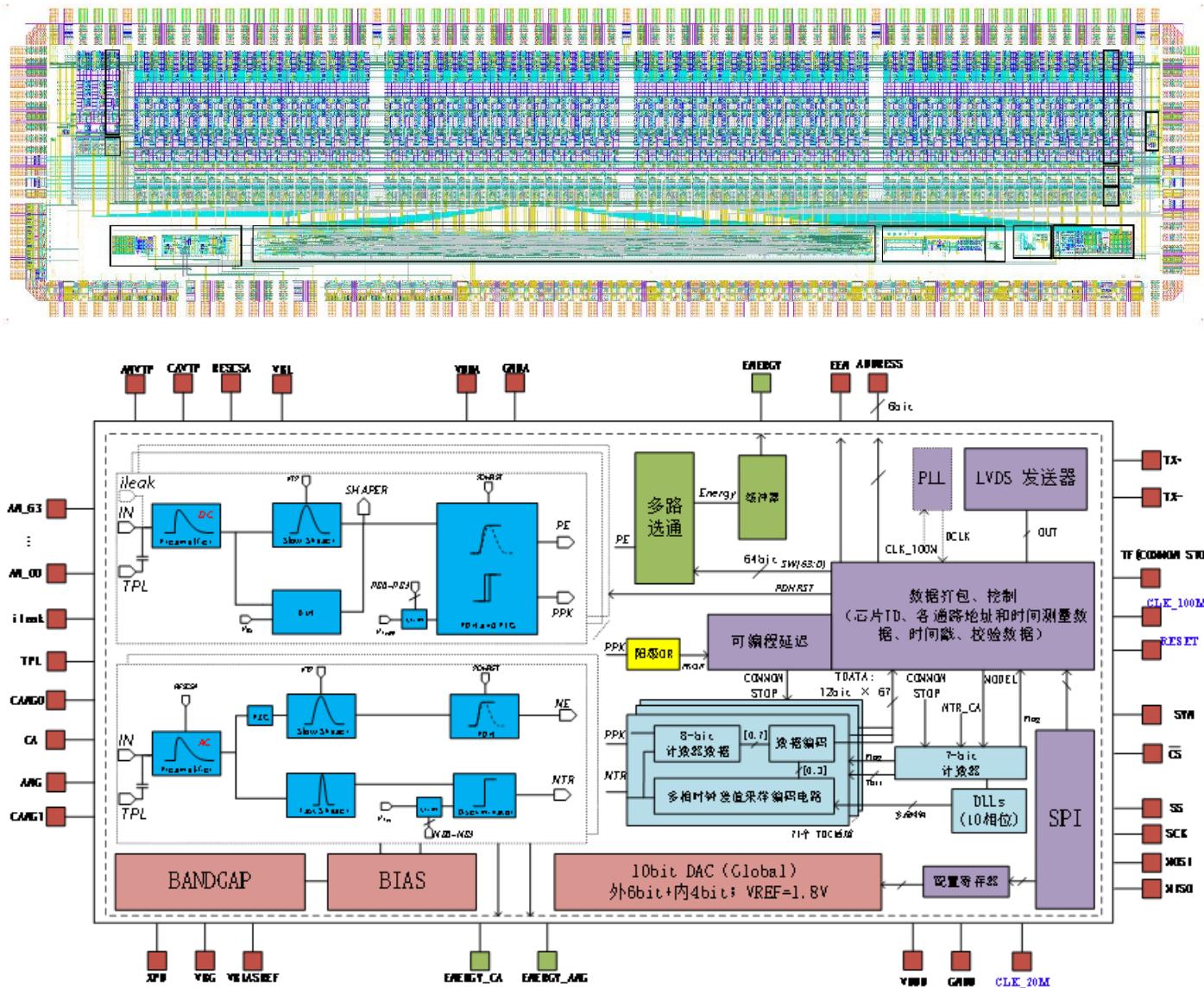
**Without LVDS driver.



请您批评指正

64通道基于反应深度测量的高分辨率能谱专用IC

性能参数	测试结果
通道数	64
转换增益	21 mV/fC
与探测器连接方式	直流耦合
ENC	134 e ⁻
达峰时间	0.5 ~ 1.3 μs
输入电荷范围	26 fC
非线性度	<5%
功耗	2.5mW/Chan.
面积	6.519*1.724 mm ²
主要功能	能量、时间（数字输出） 测量、通道地址输出



32通道大动态范围前端读出ASIC Newstar2

性能参数	测试结果
通道数	32
转换增益	33 mV/fC
ENC	190 e ⁻
达峰时间	1.3 ~ 3.6 μs
输入电荷范围	55 fC
非线性度	<5%
功耗	5.2 mW
面积	3.562 * 1.483 mm ²
主要功能	峰值保持、输出地址、 内置LDO

