

2024

年度考核报告

汇报人：王娜

电子学组

目录

01.

二维平面中
子探测器读
出芯片研制

02.

eXTP 中PFA
(偏振测量聚
焦望远镜阵列)
偏振读出
ASIC设计

03.

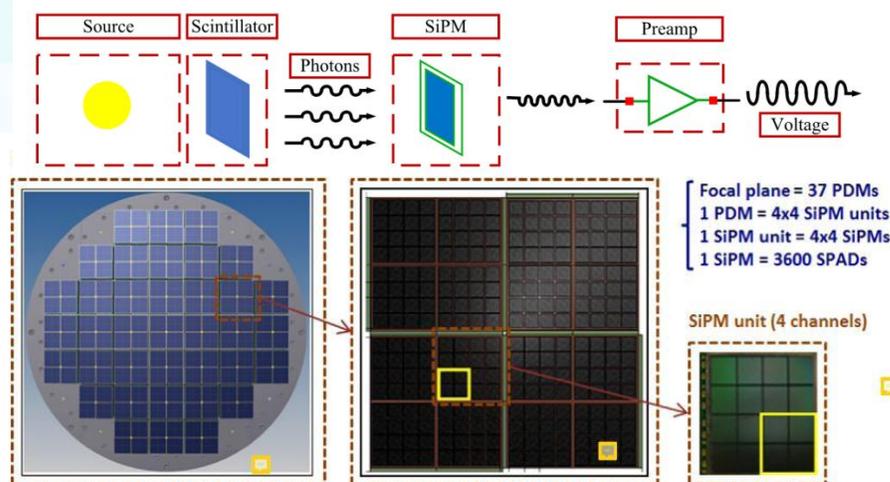
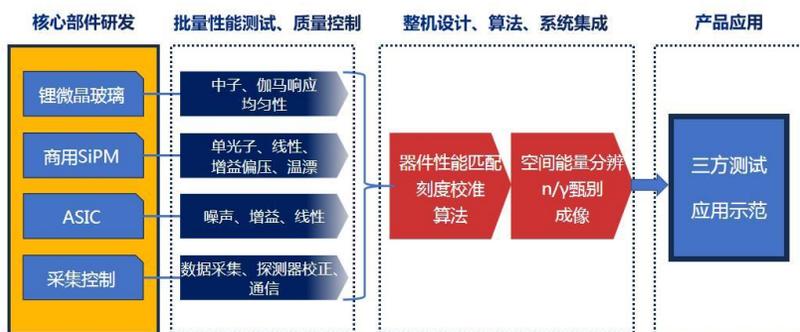
学术交流
&&课题

04.

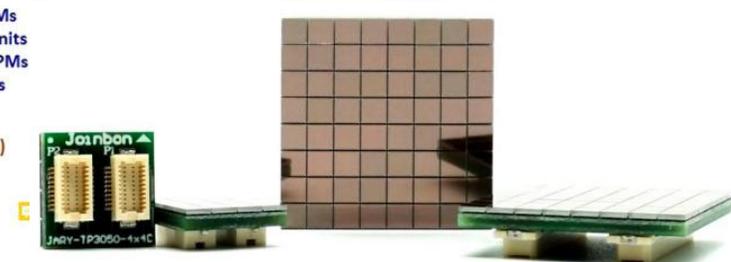
下一步计划

二维平面中子探测器--SiPM探测器读出芯片研制

- SiPM：高灵敏度、高信噪比的光电探测器件
- **二维平面中子探测器“基础科研条件与重大科学仪器设备研发”重点专项**
- 高效热中子探测：中子场的二维监测以及对样品的二维成像检测
- 掺Li闪烁体玻璃，8*8个Si-PM阵列（每探测器8*8通道），具有中子和伽马信号分辨能力
- 实现基于锂微晶玻璃+SiPM+ASIC+智能算法的总体设计，4096路全通道一对一读入：分区读出、放大成形、数字化、控制和结果显示，通过自主开发智能化关键算法，实现高精度成像



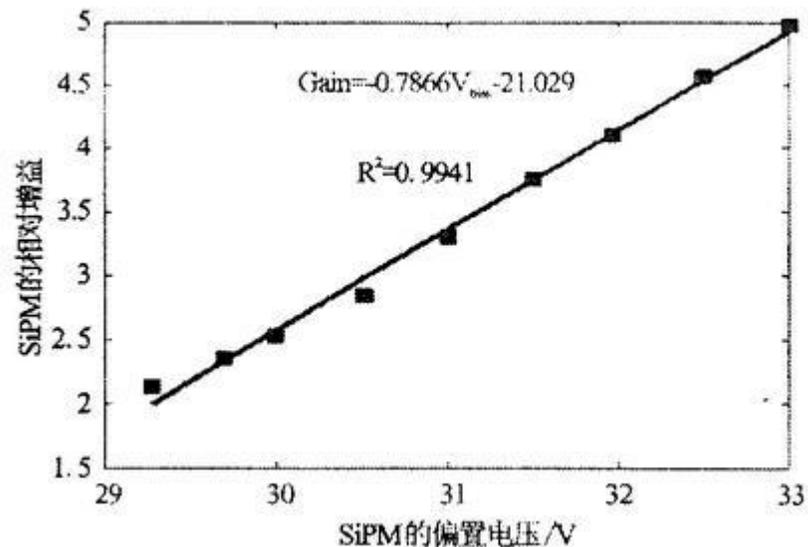
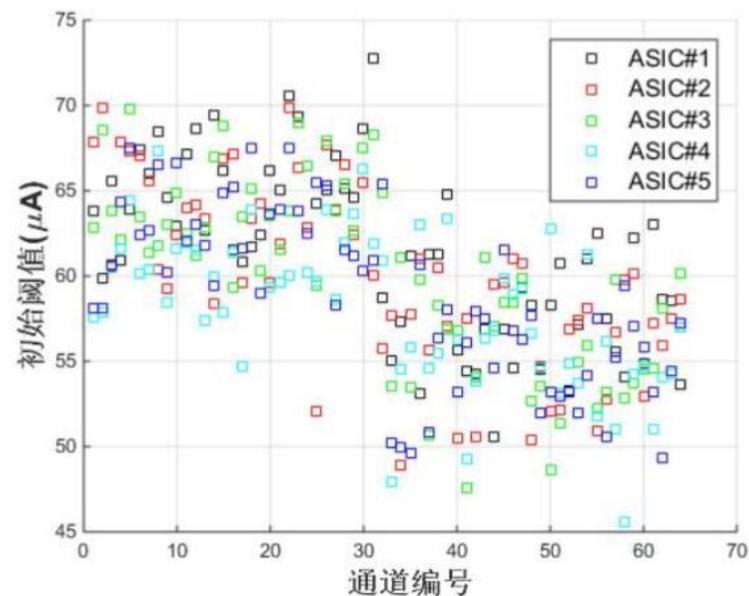
背对背 连接示意



二维平面中子探测器--SiPM探测器读出芯片设计

SiPM探测器增益不一致性问题

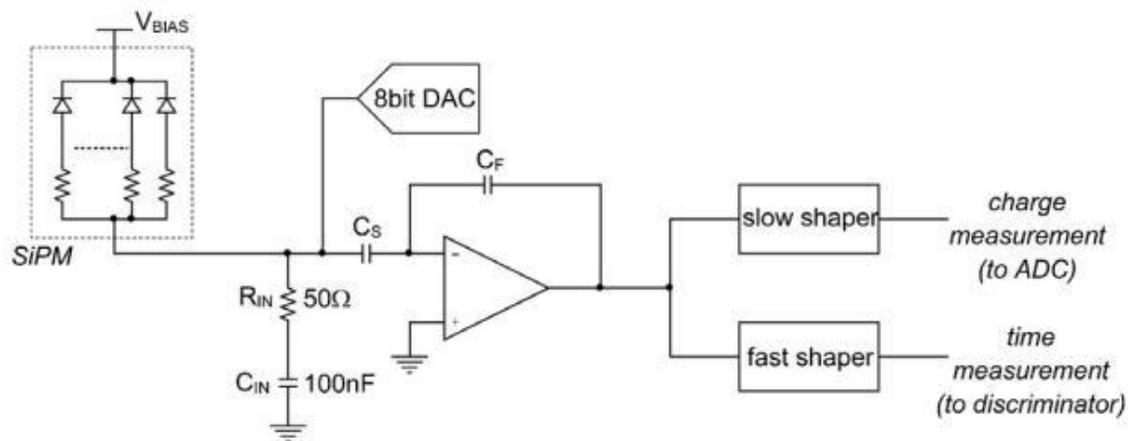
- 来源：工艺误差、SiPM击穿电压差异
- 每个SiPM器件的击穿电压VBR有所差异，而当一个阵列的SiPM都连接到相同的偏压时，VBR的差异就会造成：供给探测器的偏压和击穿电压的差值不同，从而造成SiPM增益非常大的不一致
- 影响：探测器模块的整体性能--能量分辨、时间分辨、位置分辨
- 改进方法：在每个通道加入一个电流型DAC用于进行调节SiPM偏置电压，校准增益



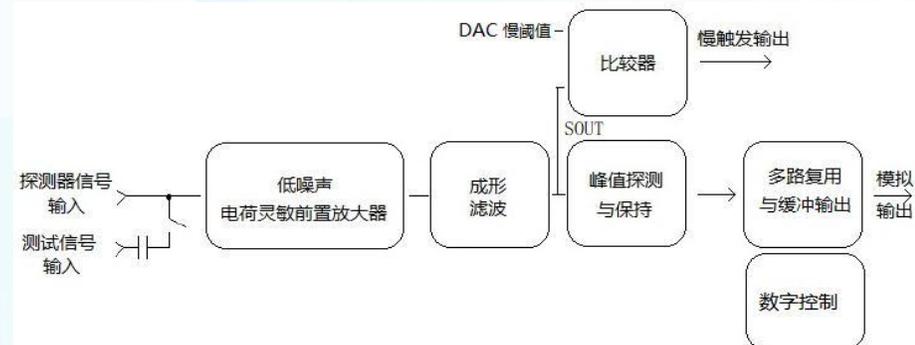
二维平面中子探测器--SiPM探测器读出芯片设计

多通道SiPM读出芯片的输入电压调整方案

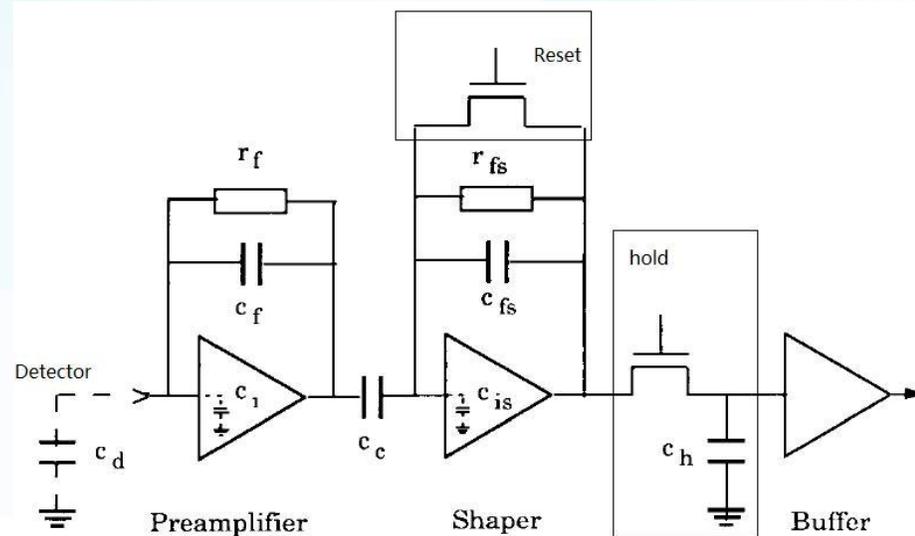
- 已有CPRE、VA等芯片前放+研发多通道8-bitDAC
- 多通道SiPM偏置电压调整-->增益调整
- 每个通道加入可调DAC与耦合电容，分别进行探测器与电子学增益的调整



CPRE系列芯片结构

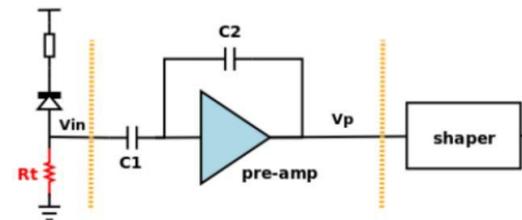


VA系列芯片结构



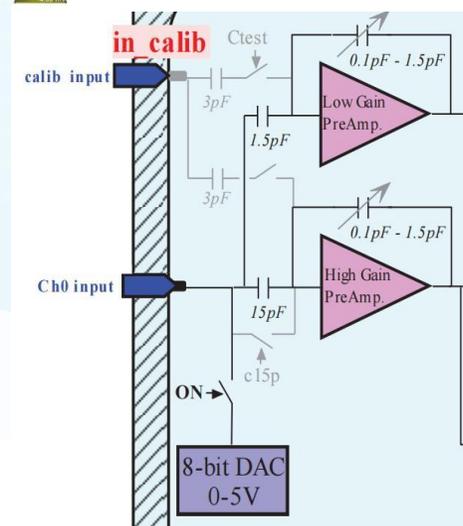
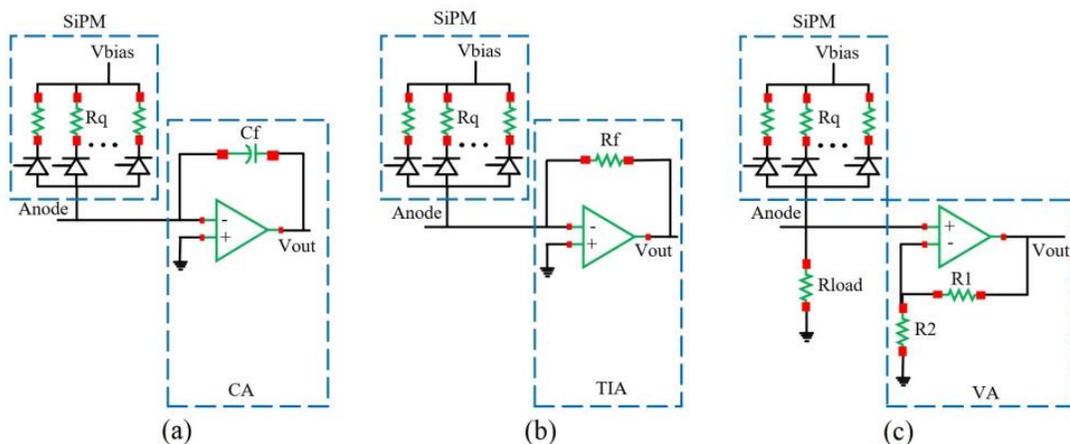
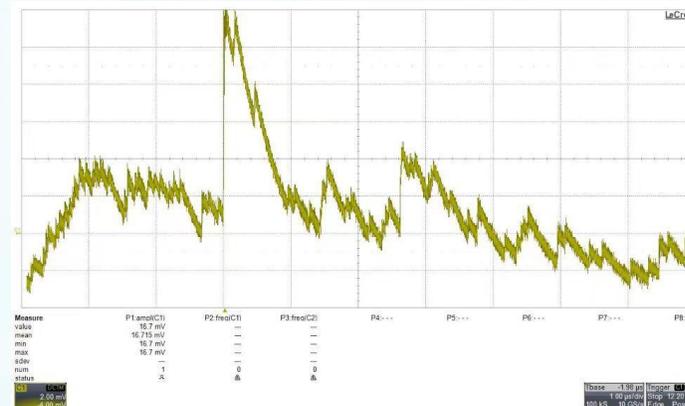
二维平面中子探测器--SiPM探测器读出芯片设计

- 电压灵敏型前放电路：SiPM探测器的高增益，传统的电荷灵敏前放无法进行全部电荷的积分， R_t 形成电压，阻抗匹配；同时快速放掉C1上的电压，相当于进入前放的电荷信号减少，提升了电路的动态范围。



R_t 根据使用情况选择1k欧姆：

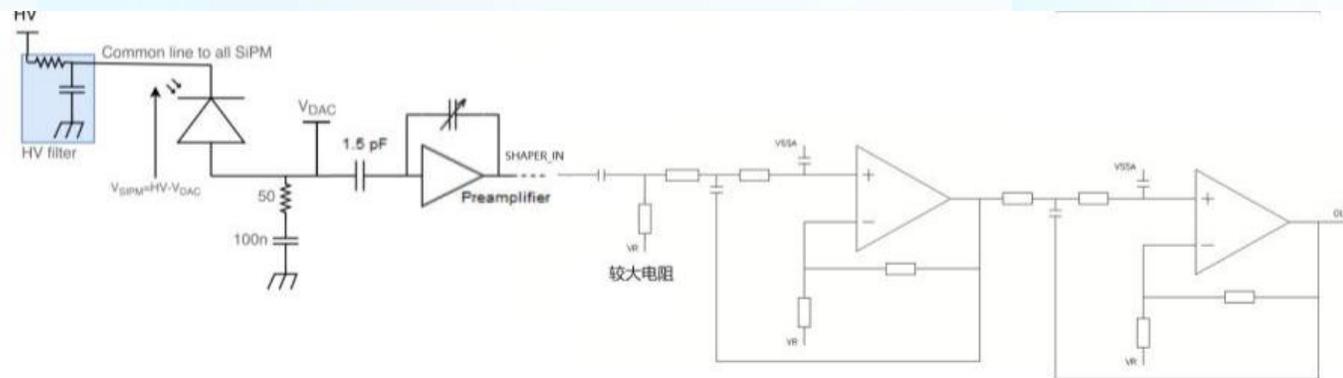
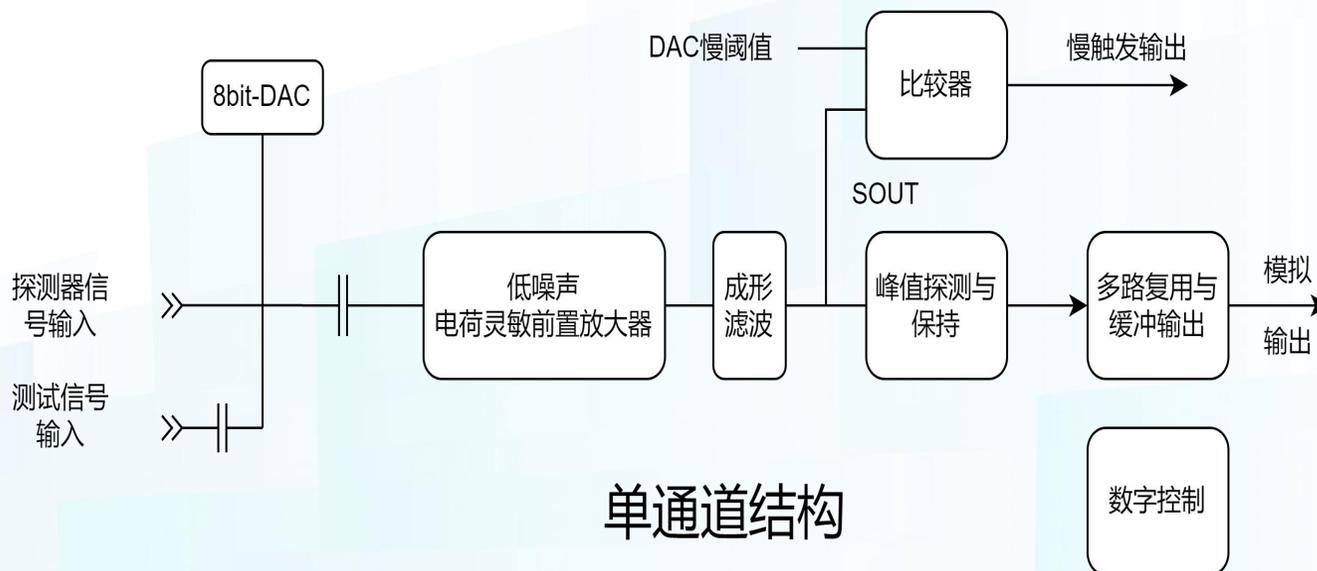
- 前放信号加宽到1us，适用于CPRE、VA等大多数现有芯片的成形时间，节约开发时间
- 如果对探测器动态范围要求较大，将输入导入2个不同增益的放大级。



二维平面中子探测器--SiPM探测器读出芯片设计

芯片结构

- 8-bit DAC, 调节输入电压0-4.5V
- 计数率 $\geq 100\text{kHz}$
- 响应时间 $\leq 100\mu\text{s}$
- 噪声 $< 10\%$ @662keV
- 功耗 $< 5\text{mV}$
- 由于SiPM本身信号较快的前沿, CPRE内部设置调节电阻--可关闭用于增加前放的输出宽度和幅度, 适应现有CPRE芯片的成形时间



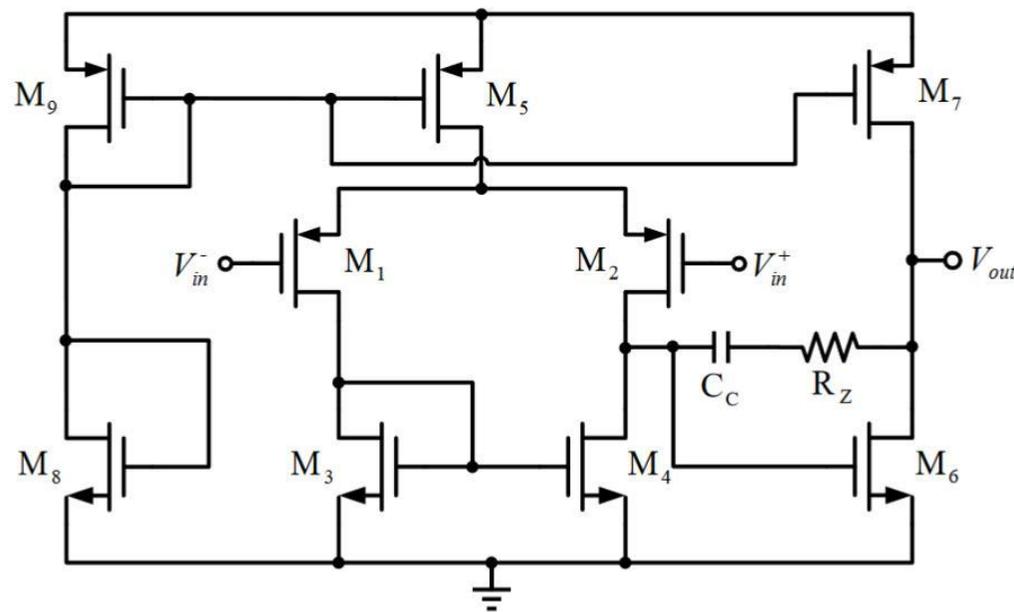
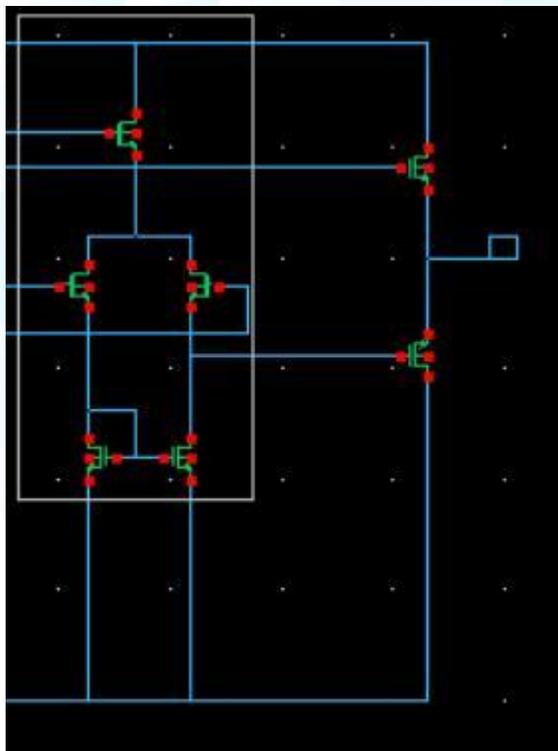
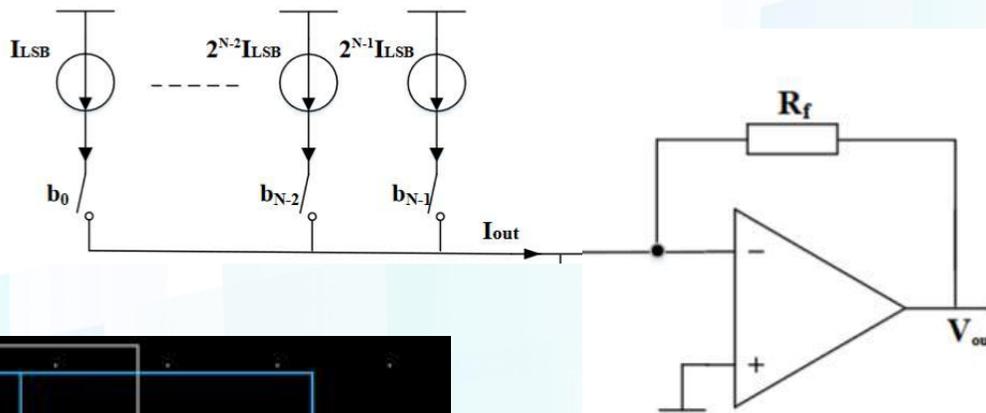
二维平面中子探测器--SiPM探测器读出芯片设计

• 8-bit Current Steering 电流舵DAC单元

- 调节电压，又不能大量吸收信号电荷
- DC耦合到前放输入端
- 电流型DAC，通过将各个电流直接相加来完成数字输入到模拟输出之间的转换
- 优势：简单缺点：功耗有所增加

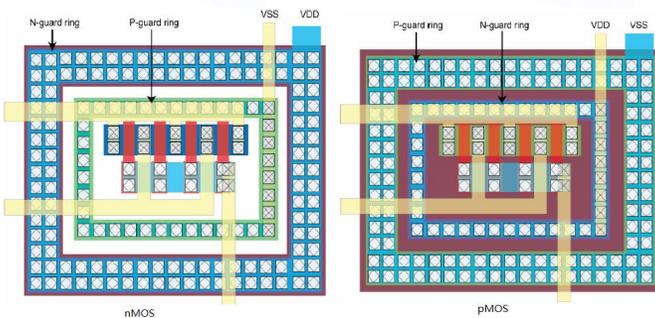
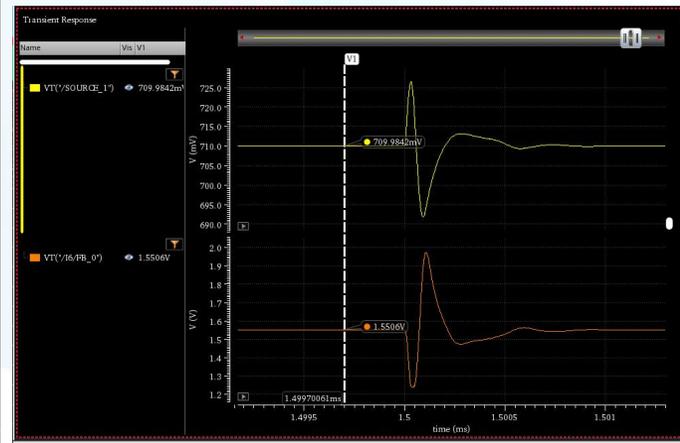
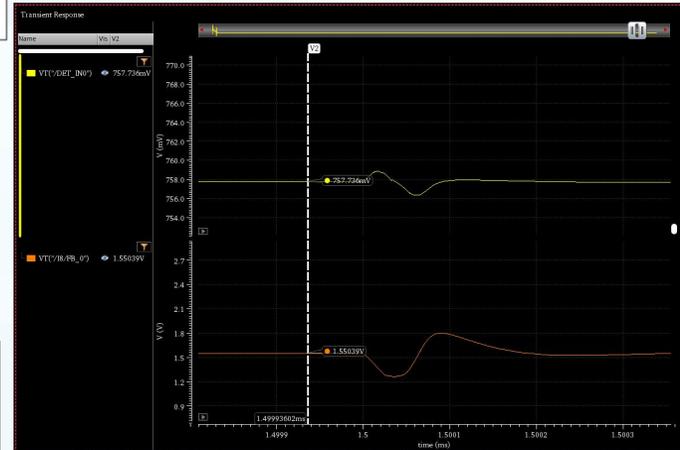
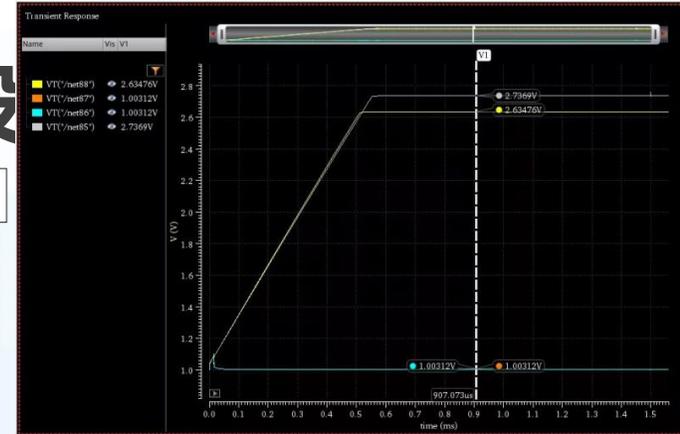
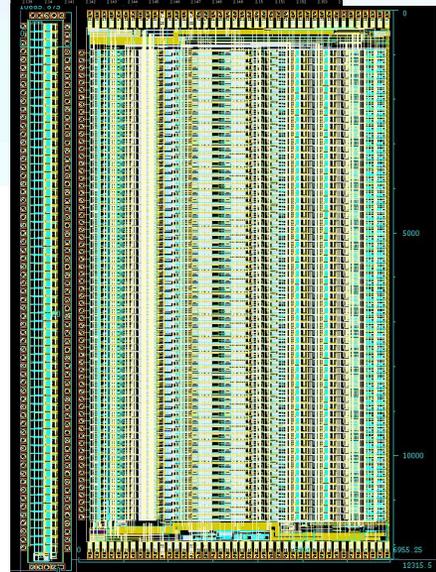
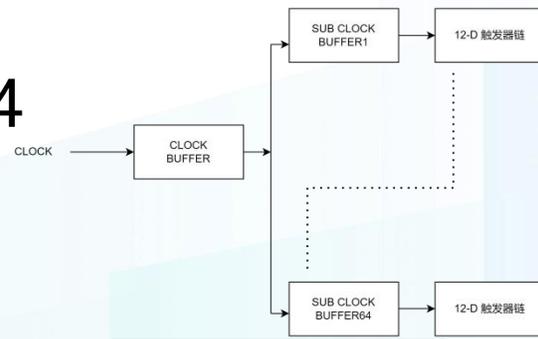
在输出端形成主极点：

- 探测器电容300pF+输出端50Ω电阻
+100nF电容，与常见两级运放不同



二维平面中子探测器--SiPM探测器读出芯片设计

- 完成64通道全芯片设计并提交流片，预计3-4个月
- 每通道带有可调DAC与耦合电容，可以分别进行探测器与电子学增益的调整，偏置电压调节范围--4.5V。
- 整芯片采用12*64 个D触发器串行连接，分别配置64个通道的数字信号，进行时钟驱动设计：总驱动+64通道子驱动
- 版图抗辐射设计



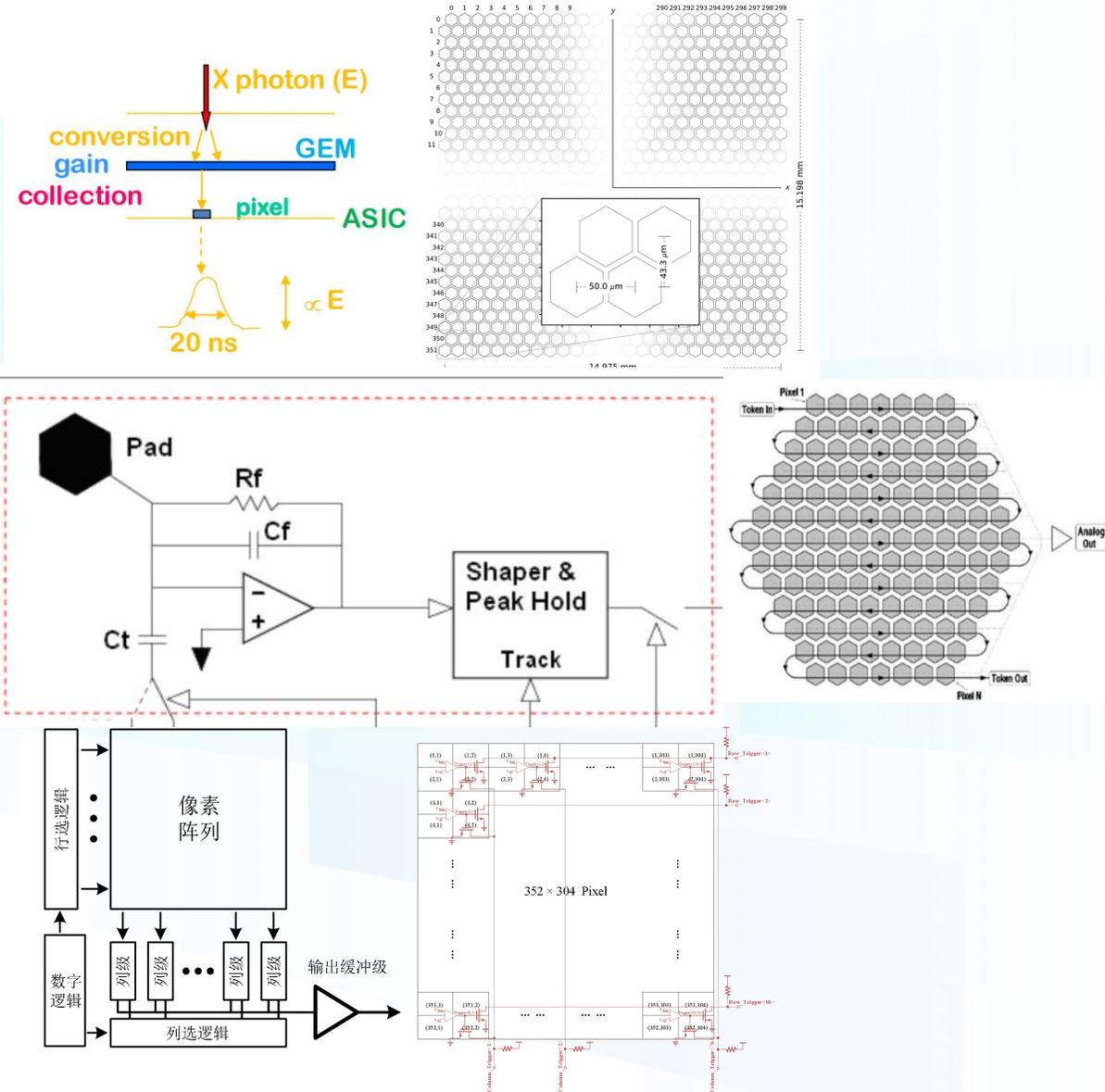
eXTP 中PFA（偏振测量聚焦望远镜阵列）偏振读出ASIC设计

- 二维位置灵敏气体像素探测器（Gas Pixel Detector, GPD-偏振读出ASIC
- X射线偏振测量，2 – 8 keV能区
- 像素尺寸15x15 mm²，300×352像素，输入通道数为105600路

电路设计：

- 1.低噪声、面积和功耗限制下的能量测量像素电路
- 2.高速读出缓冲级，触发产生机制及触发区域确定
- 3.低串扰的大阵列信号读出
- 4.抗辐射设计

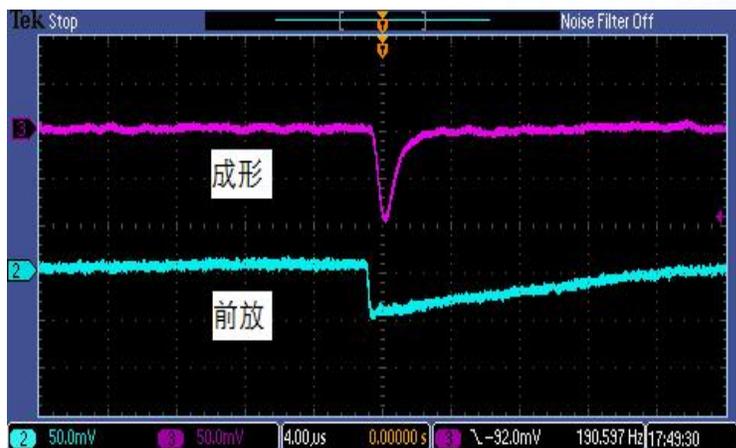
职务：**PFA读出芯片主管设计师**，全时工作--2030年
芯片偏置电源产生及滤波，和数字部分设计（顺次读出）。
逐像素读出，区域读出



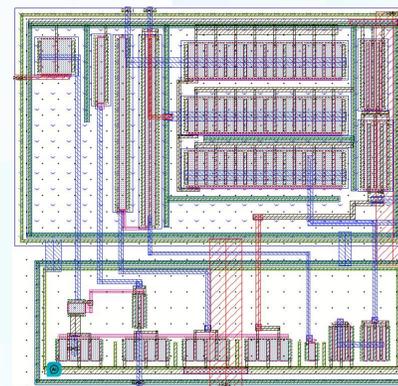
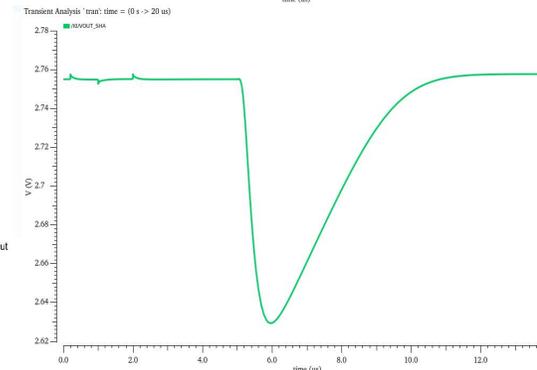
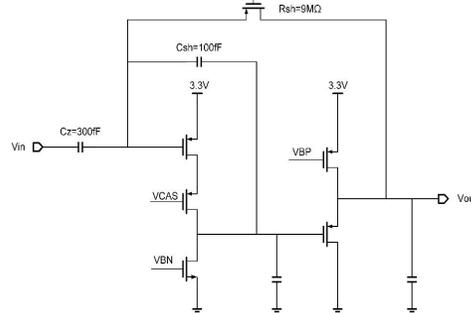
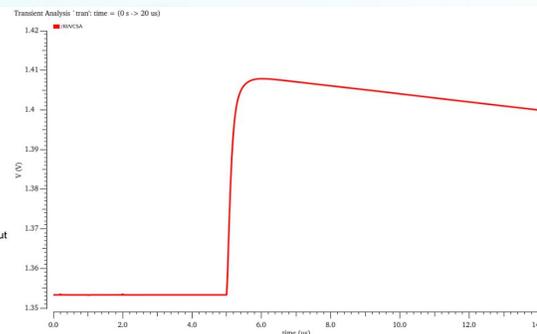
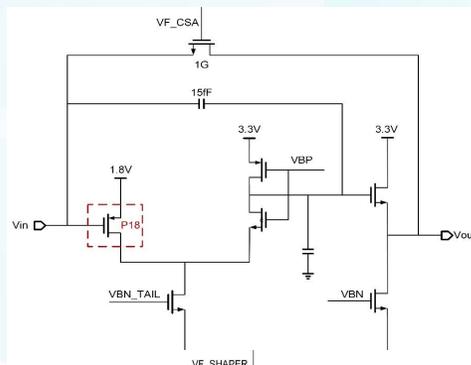
eXTP 中PFA (偏振测量聚焦望远镜阵列) 偏振读出ASIC设计

- 像素电路：电荷灵敏前放+成形+峰值保持，四像素共用触发信号

CSA、成形器与峰保电路级联的结构已在单通道及多至128通道的辐射探测芯片中经过流片验证



Am-241源 (59.5keV) 实测的前放、成形输出波形

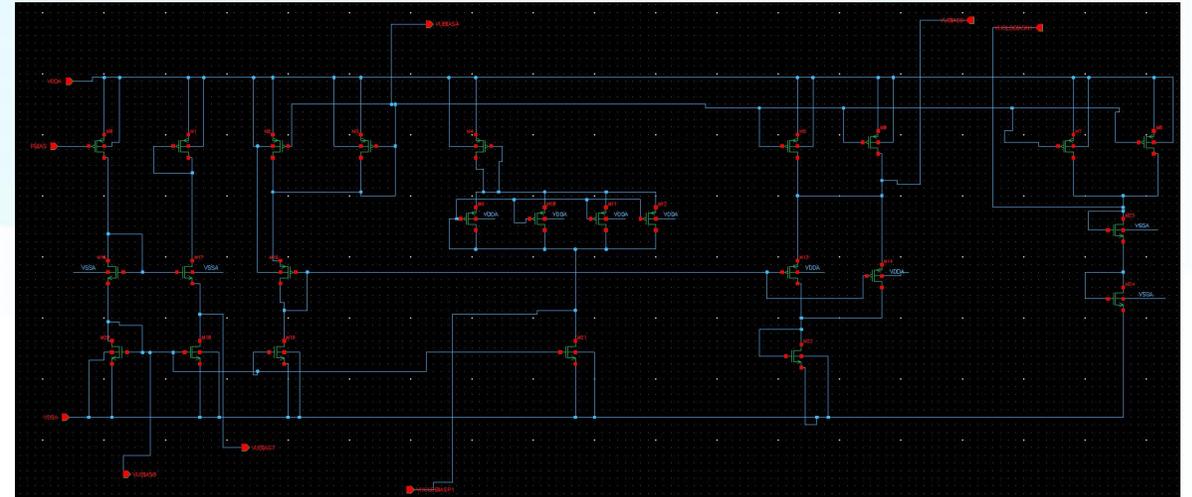
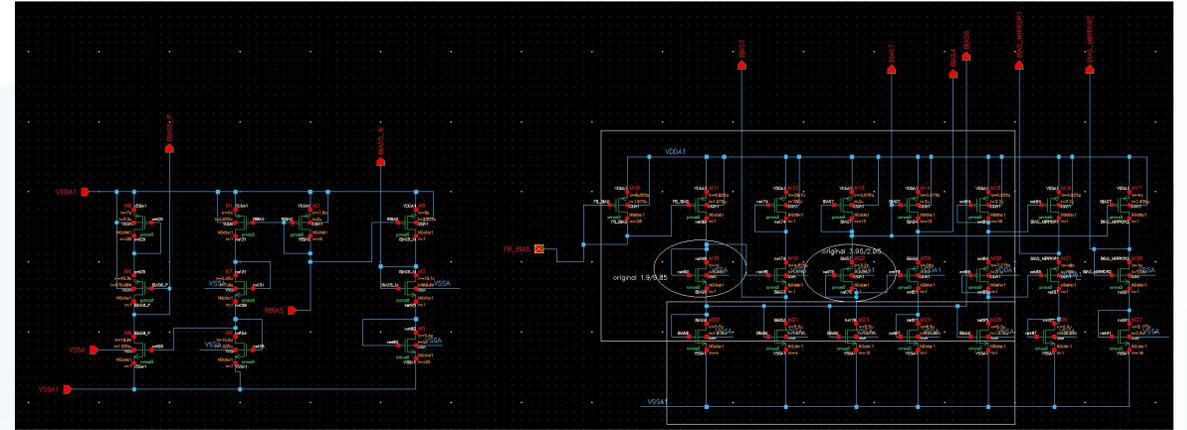
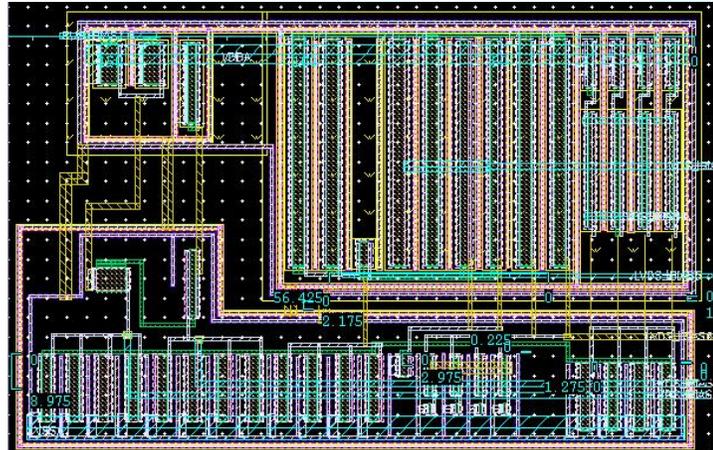
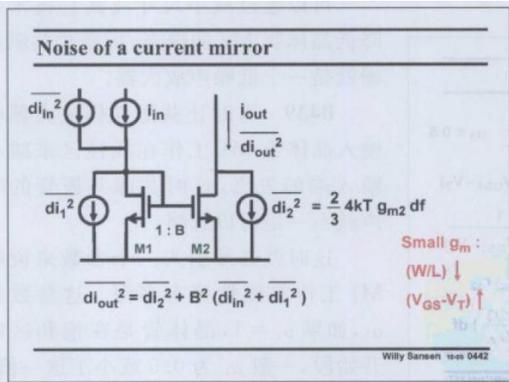


抗辐射版图技术

eXTP 中PFA（偏振测量聚焦望远镜阵列）偏振读出ASIC设计

偏置电路

- 沟道调制效应，噪声大--L值尽量大
- 噪声-- g_m 平方-- W/L 成正比
- W/L 要尽量小
- 前放仿真时候，电流源的噪声贡献小于1%



发表文章&学术交流&课题&基金申请

学术交流

第二十二届全国核电子学与核探测技术学术年会，2024.07 青岛

报告：CPRE-SiPM-A ——匹配通用芯片的多通道SiPM增益与高压调整芯片设计

重点专项 “二维平面中子探测器研制” 启动会，2024.03 成都

报告：课题2：低功耗高集成度ASIC自主研发--课题实施方案汇报

发表文章

2024 X-ray Photon Processing Detectors, Space, Industrial, and Medical application, the eighth chapter,

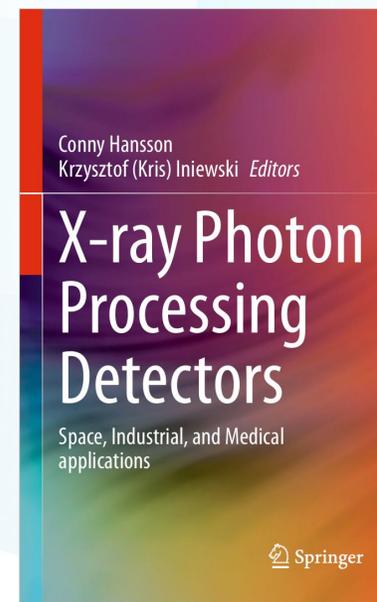
Tianze Chen, Xiaohui Li, **Ke Wang**, CunFeng Wei, Lei Shuai, Xiaopan Jiang, **Na Wang**, Mian Wang, and Long Wei

承担课题：

课题负责人：60万，**2024年 研发中心 CZT半导体探测器SPECT（总450万）**

基金申请

申请面上自然科学基金：针对CEPC量能器Si-PM的大动态范围读出芯片研制



下一步计划

- **二维中子平面探测读出芯片的测试/读出系统研制（协助）**
- **完成偏振读出芯片初版设计并流片**
- **偏振读出芯片的测试/读出系统研制（协助）**

谢谢！