



年度考核 工作报告

王 科

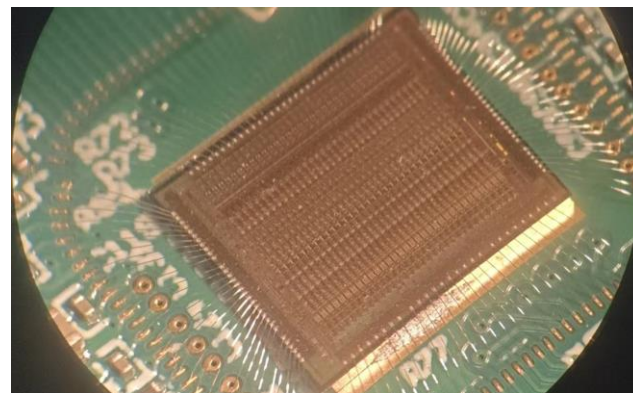
电子学组

2024.11.22

一、岗位职责

1. 探测器读出芯片 (ASIC)及系统研制

主要方向低噪声测能量型芯片。

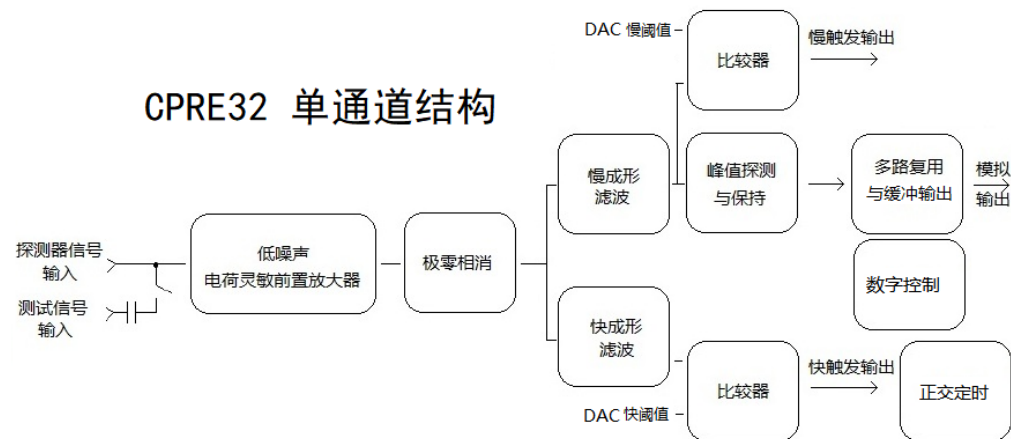


“跨中心ASIC研发 根据所探测器电子学相关讨论，初步落实明确相关方向的研发力量
天体方向：王科、王娜 散裂方向：李怀申”

二、本年度工作情况

1、研究任务完成情况

1.1 64通道能谱型半导体探测器读出芯片 (ASIC)设计及应用

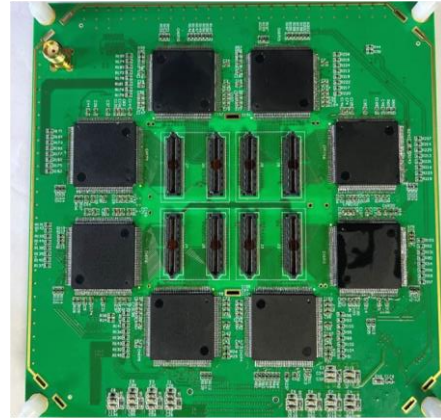
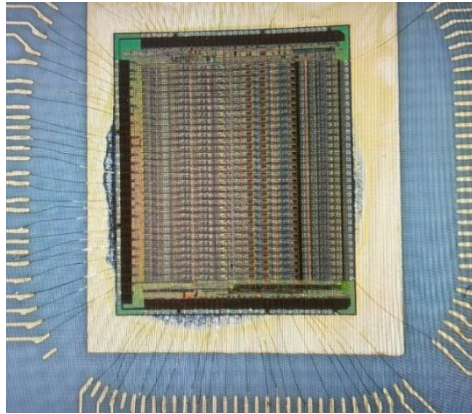


本系列芯片目前应用:

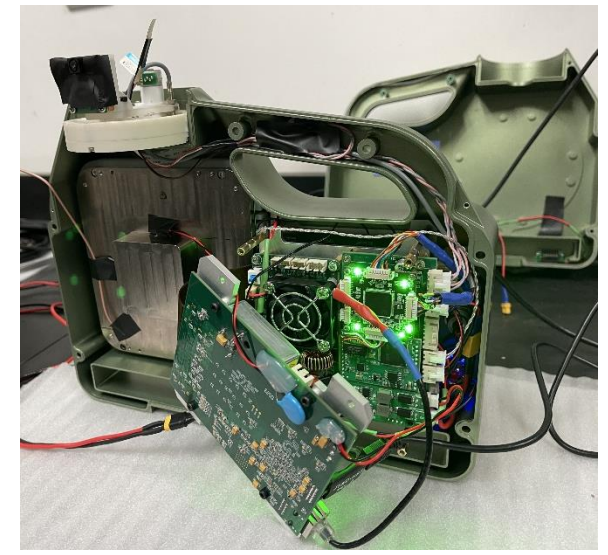
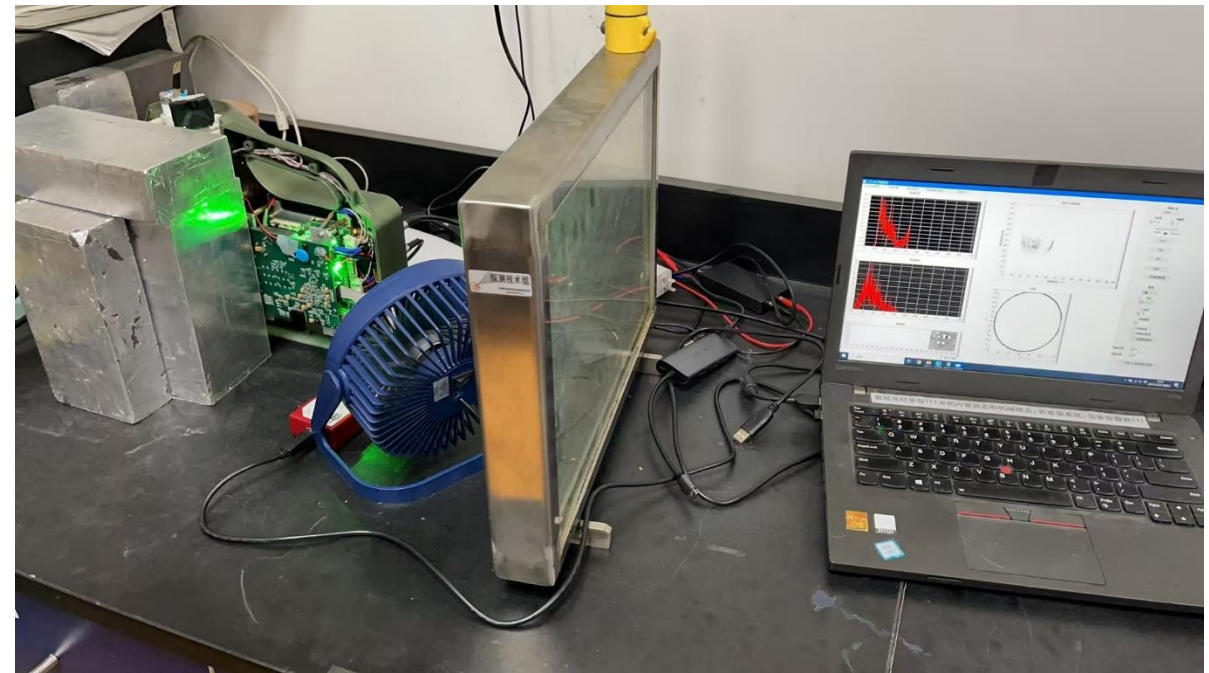
- 研发中心 CZT半导体探测器康普顿 γ 相机 (完成)
- 研发中心 CZT半导体探测器SPECT (单光子发射计算机断层扫描) (进行中)
- 天体中心 编码孔径康普顿综合伽马射线探针 (SCOPE) 预先研究 (进行中)
- 天体中心 宽波段X射线偏振与能谱卫星(WXPT)中TPC读出 预研 (进行中)
- 实验中心 二维平面中子探测器中SiPM 多通道能量测量 (重点研发计划) (进行中)

设计芯片 (负责) , 指导系统设计

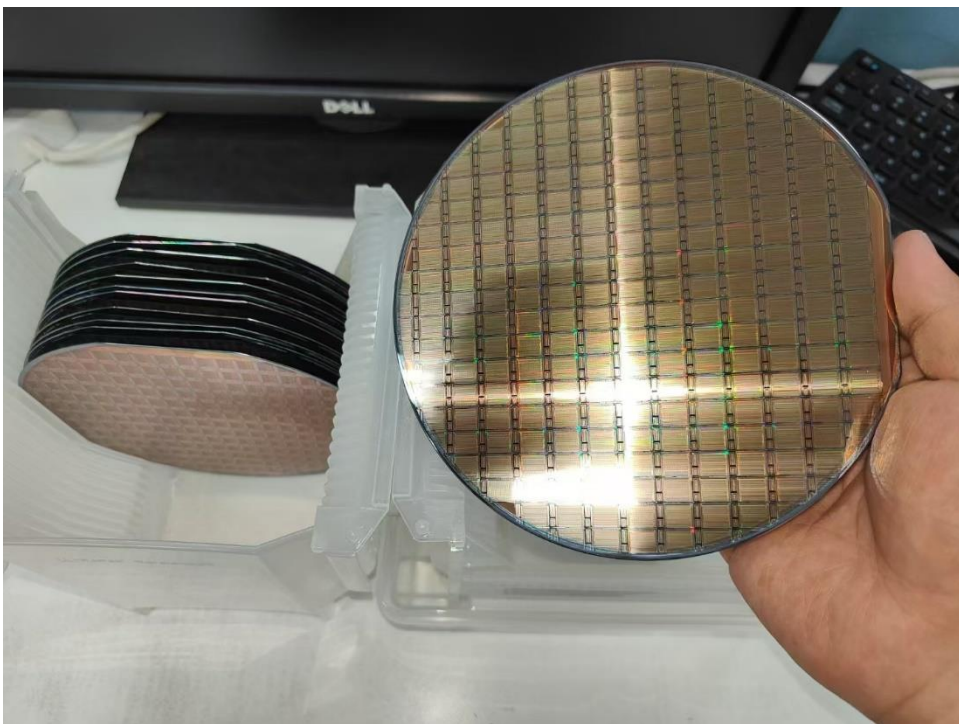
a.CZT康普顿相机



32通道芯片

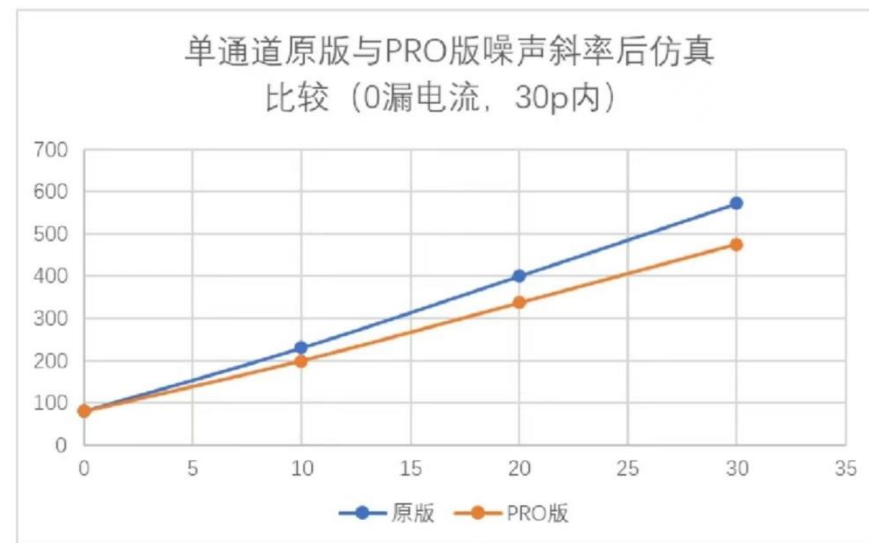


完成32通道芯片优化设计,



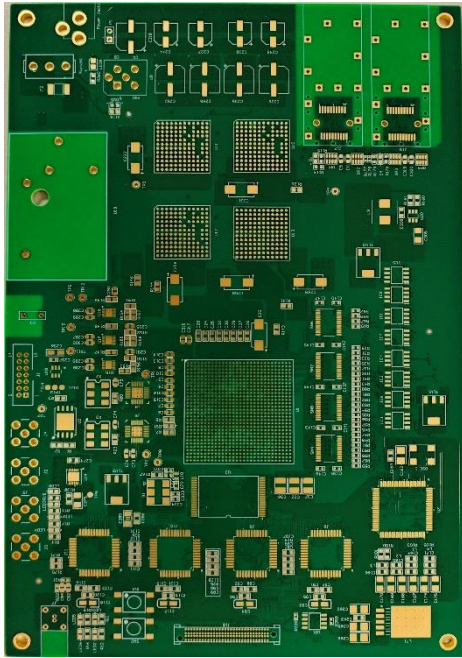
2) 输入噪声:

$80e+13.2e/pF$



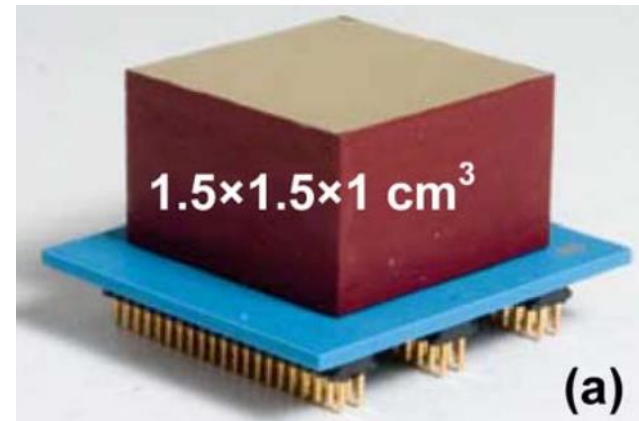
(旧版) : $81e+16.4e/pF$,

b. 研发中心 CZT半导体探测器SPECT (60万/450万)



控制板照片

(121通道—4颗芯片) *4组*4方向=64颗芯片
CZT像素探测器
Cs137能量分辨率2%



c. 天体中心 编码孔径康普顿综合伽马射线探针 (SCOPE) 预先研究 (所创新 120万)

SCOPE: 追踪天体核过程及元素演化、揭示宇宙重元素起源、超新星爆炸机制、正电子湮灭线511keV起源以及致密天体辐射机制等。

核心科学目标：

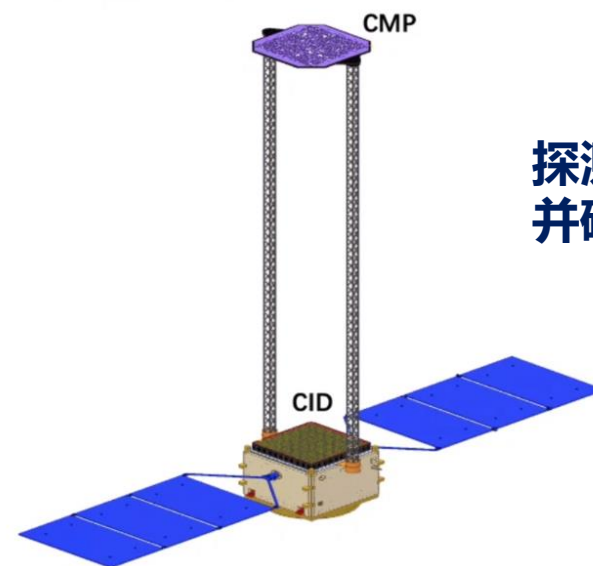


常规科学目标：



1.3.2 SCOPE-载荷配置和性能估计

- 主要包括：
 - (1)编码板 (CMP)
 - (2)康普顿成像探测器 (CID)
 - (3)反符合探测器(ACD)



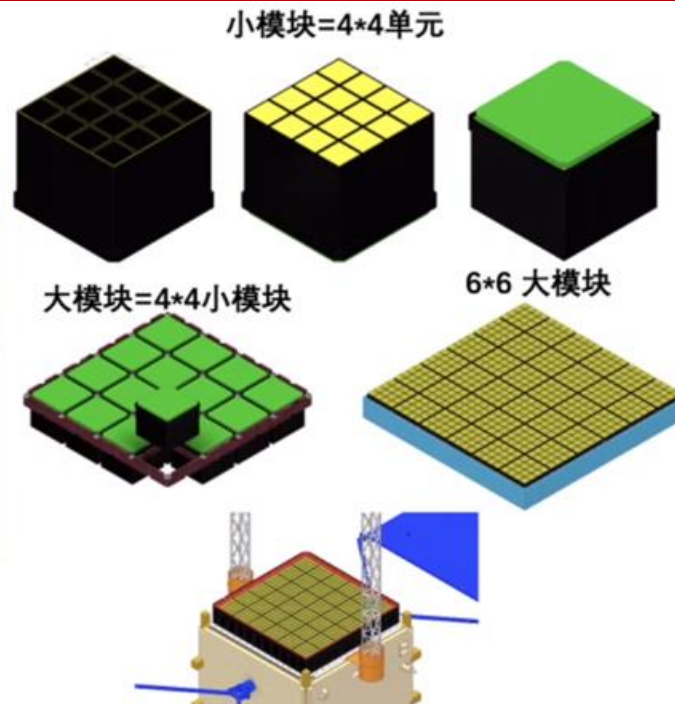
探测1MeV的伽马射线，并确定位置。

b. 天体中心 编码孔径康普顿综合伽马射线探针 (SCOPE) 预先研究 (所创新 120万)

康普顿成像探测器 (CID)

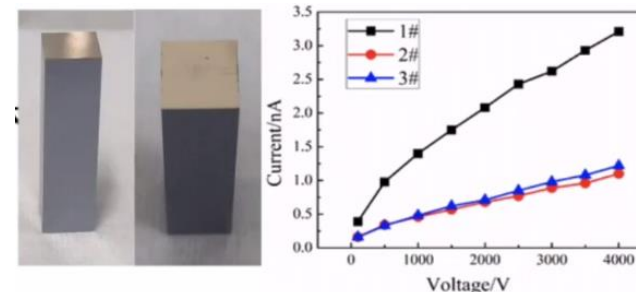
探测器	双层3D- CZT(碲锌镉)
覆盖面积	100cm*100cm
单元尺寸	8mm*8mm*25mm
能量分辨	$\leq 1.5\%$ @662keV
位置分辨	≤ 1.5 mm

CZT室温半导体探测器：能量分辨接近高纯锗(HpGe)



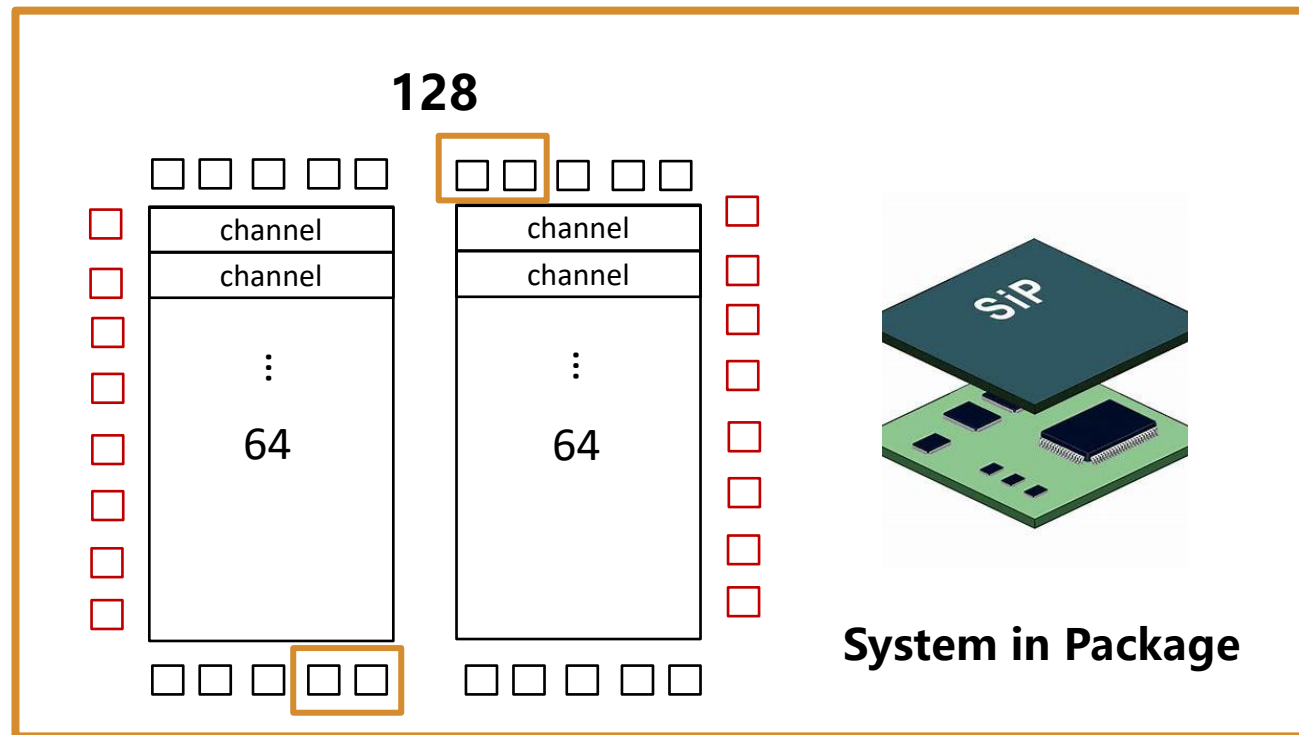
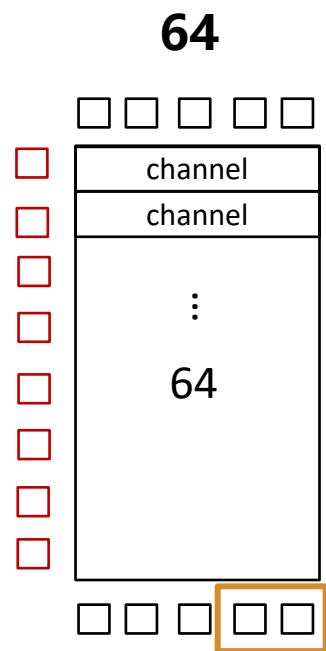
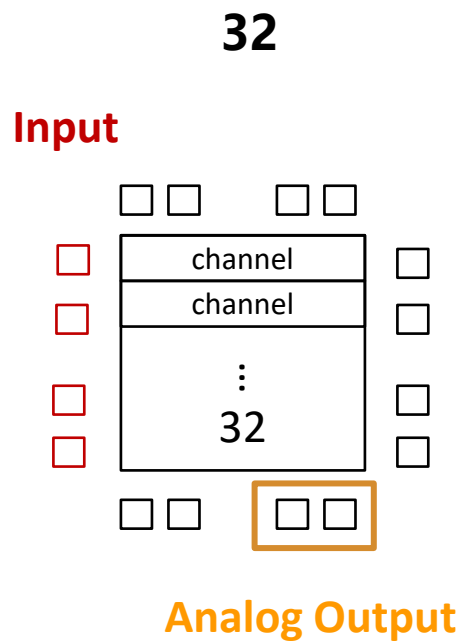
- 3D-CZT的发展有两种技术路线：像素型和 虚拟弗里希型(VFG)

	像素型3D-CZT	VFG 3D-CZT
单元尺寸	2cm×2cm×1.5cm	8mm×8mm×20mm(30,40mm)
读出通道	121阳极, 1阴极 (20ch/cm ³)	5阳极,1阴极(3ch/cm ³)
能量分辨FWHM	0.5~0.9%@662keV	0.7~1.0%@662keV
三维位置分辨	≤ 1 mm	≤ 1 mm
晶体品质要求	能谱级(高成本)	标准级(低成本)



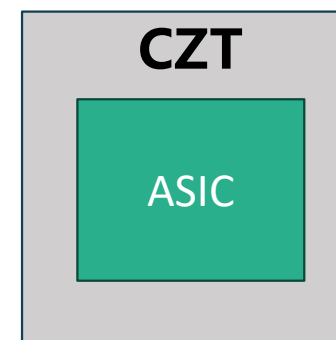
VFG-CZT样品及V-I曲线

完成64/128通道芯片——CPRE64 (王科, 王娜, 廖浩龙)



64个输入端放置在同一侧
右侧数字I/O移动至上下

SIP面积:
 $\approx 1.5 * 1.2 \text{ cm}$
CZT面积:
 $2.2 * 2.2 \text{ cm}$

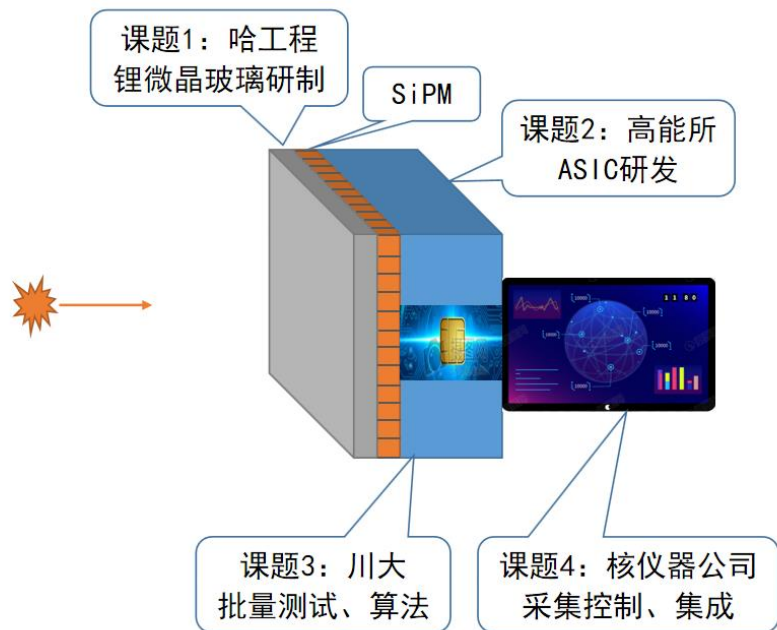


实现“背对背”的方式，
优化噪声和布局

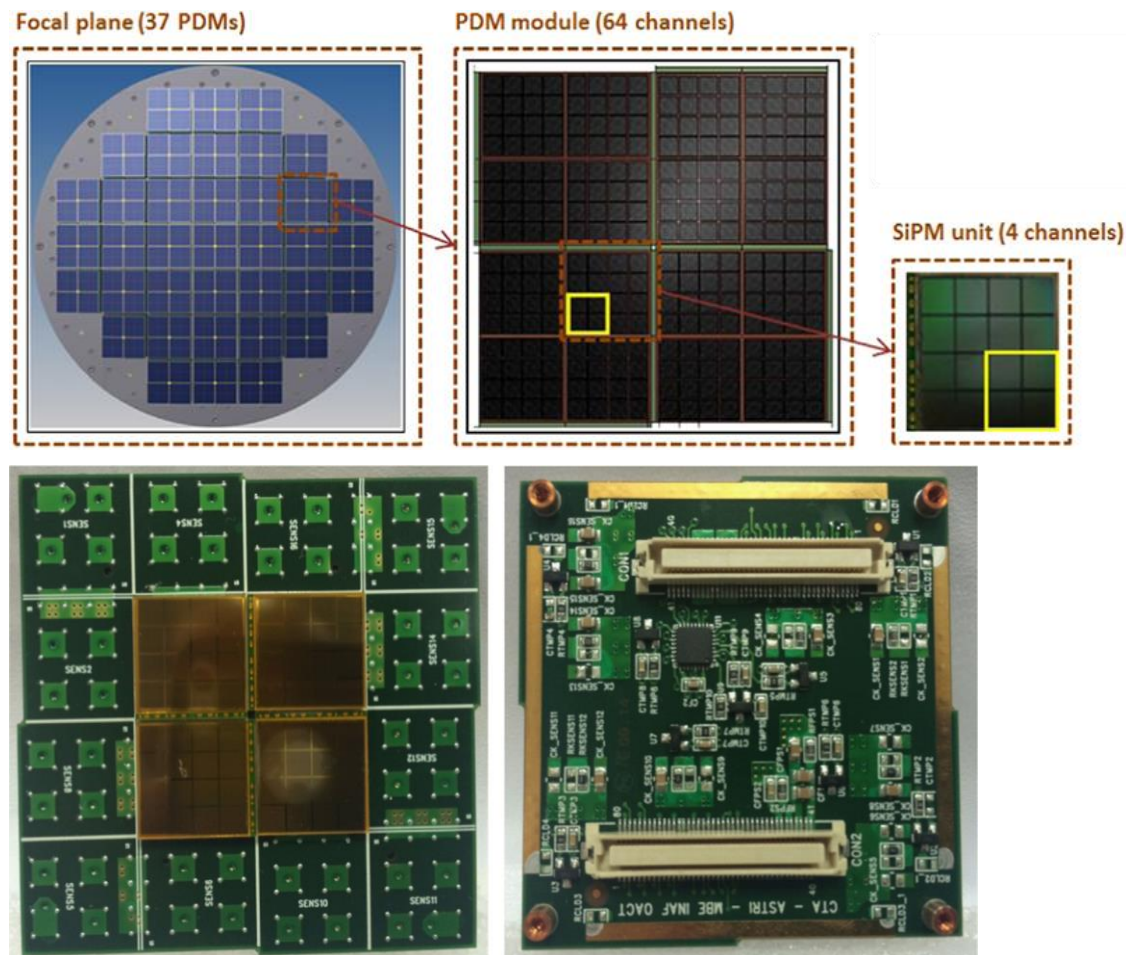
d. SiPM 多通道能量测量 国家重点研发计划 二维平面中子探测器研制

以下为示意图片

国家重点研发计划 二维平面中子探测器研制

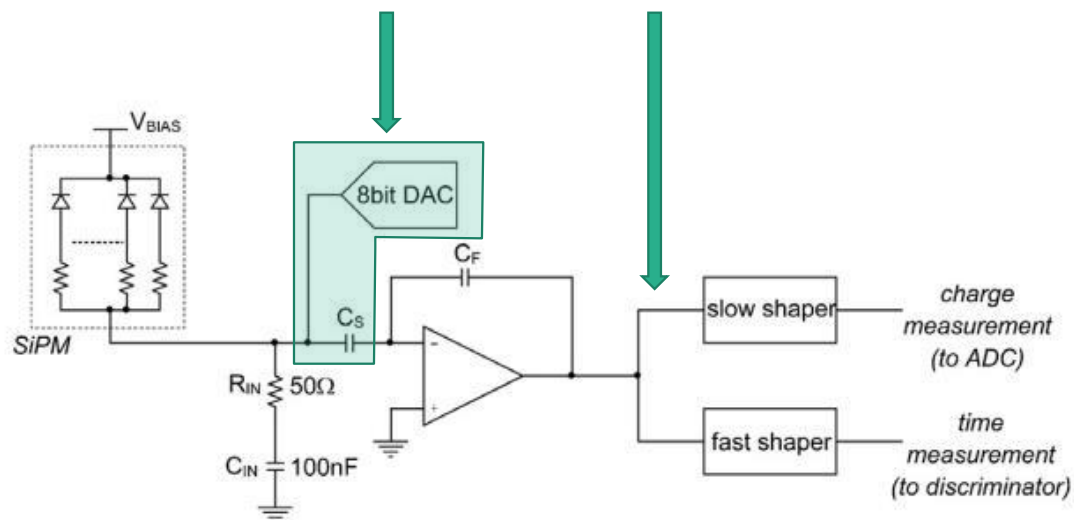


SiPM 64*64通道, 共4096通道一一读出

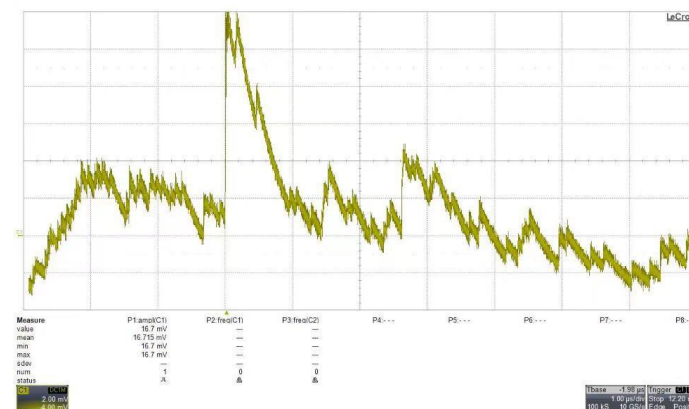
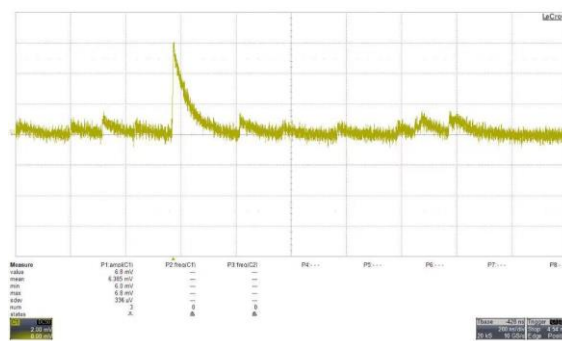
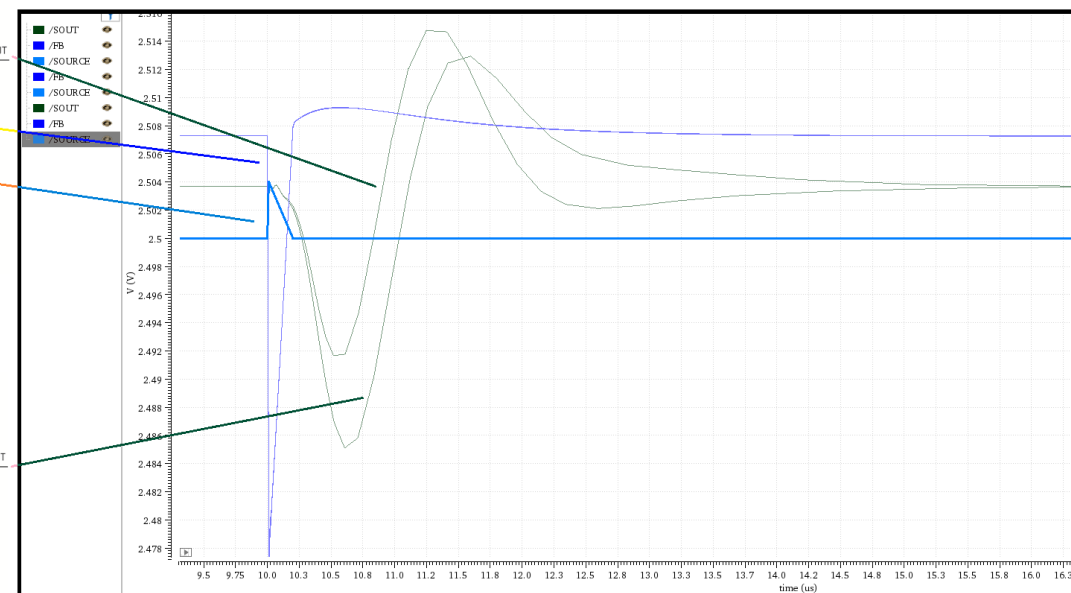
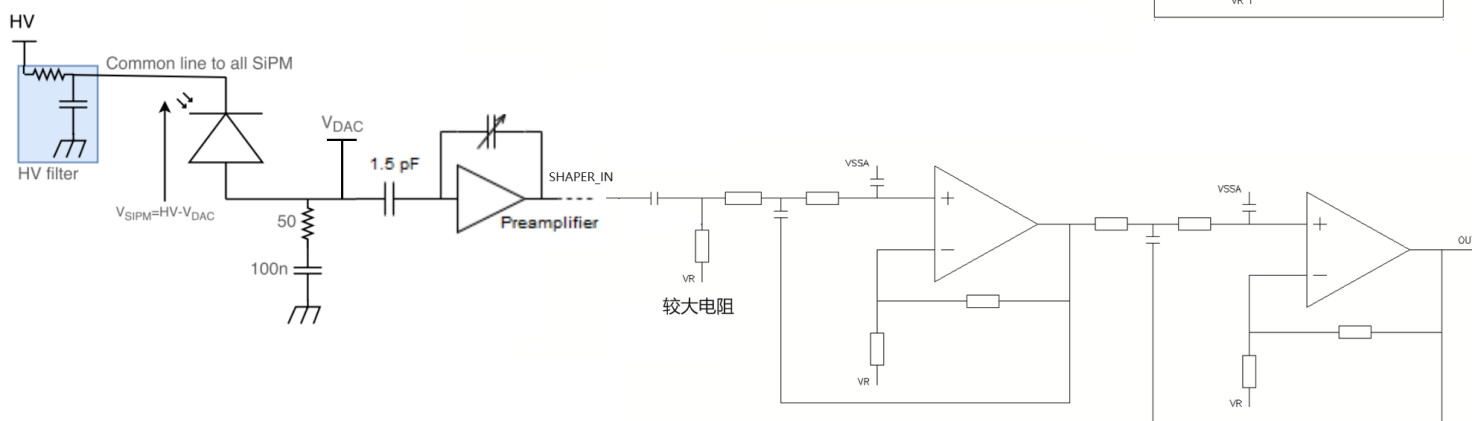
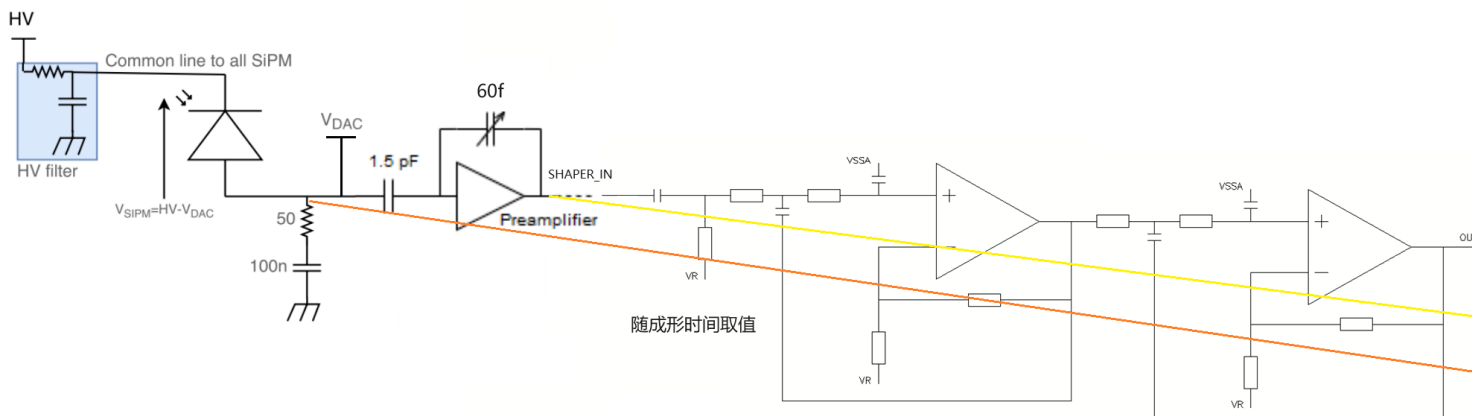


SiPM 多通道能量测量 国家重点研发计划二维平面中子探测器研制

SiPM需要高压调节及增益调节,
采用 前端64通道调节芯片+CPRE64 的方式 (王娜, 王科)

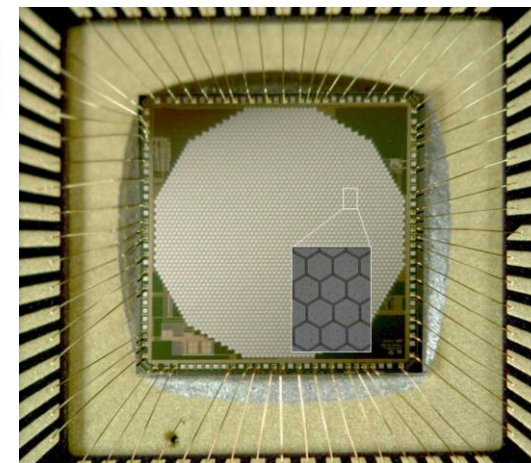
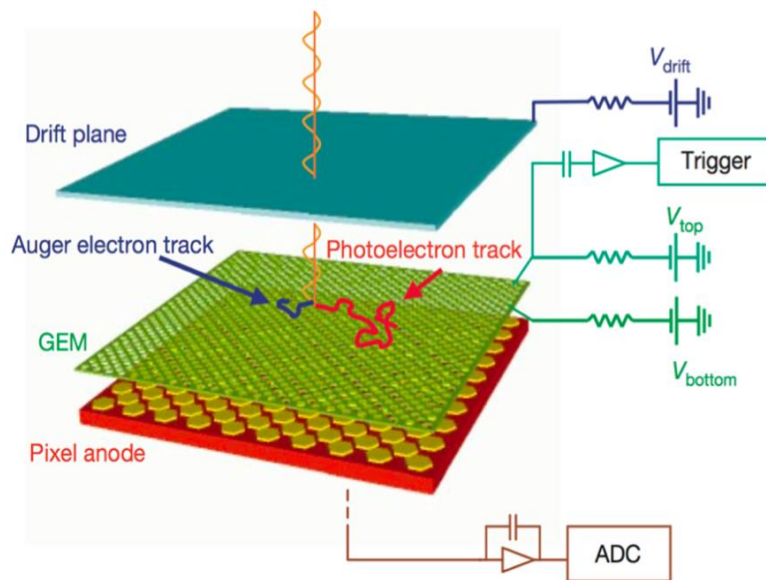


改动CPRE64, 增加采用全积分型成形功能, 保留SiPM信号



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

1. eXTP 2个主要载荷之一，
2. 中央科技委，**计划，
3. 副主任设计师，负责PFA的ASIC设计工作。

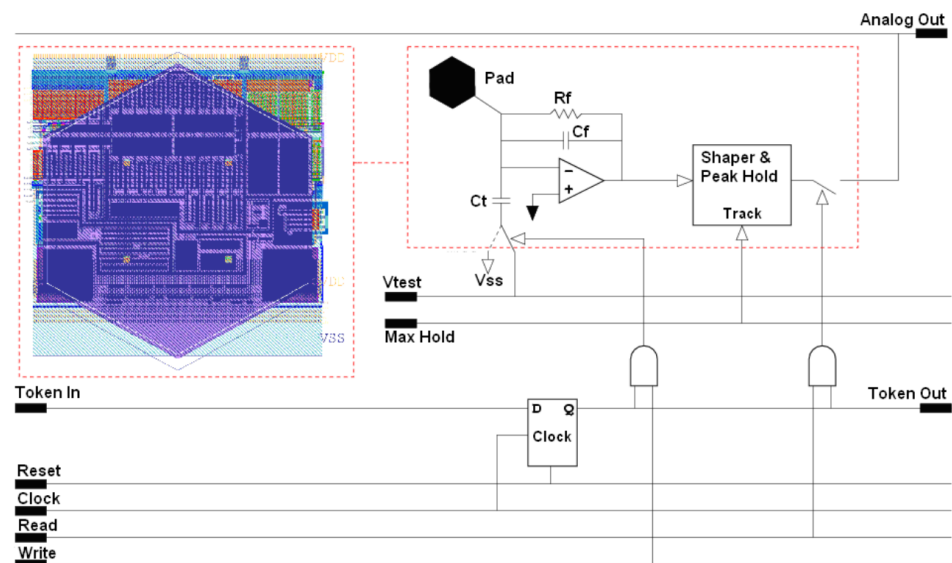


示意图

- 二维位置灵敏气体像素探测器GPD用于X射线偏振测量
 - GEM: 雪崩放大区
 - ASIC: 像素电极收集电子，转换成电压，放大并读出
 - 光电子径迹投影可重建出光电子出射方向和X射线作用点位置，进而分析出具有位置分辨的X射线偏振、能量和时变信息

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

- 具有两维位置分辨能力
 - 像素大小：50*50um,六边形
- 每个像素具有能量（电荷）测量能力
 - 2 – 8 keV的能区 ↔ 像素电路的ENC噪声<50e
- 像素灵敏区的尺寸不小于15 mm × 15 mm
 - 像素数量> 300 × 350 ↔ 单个像素的功耗<20uW
- 降低读出电子学死时间
 - 提高读出速率

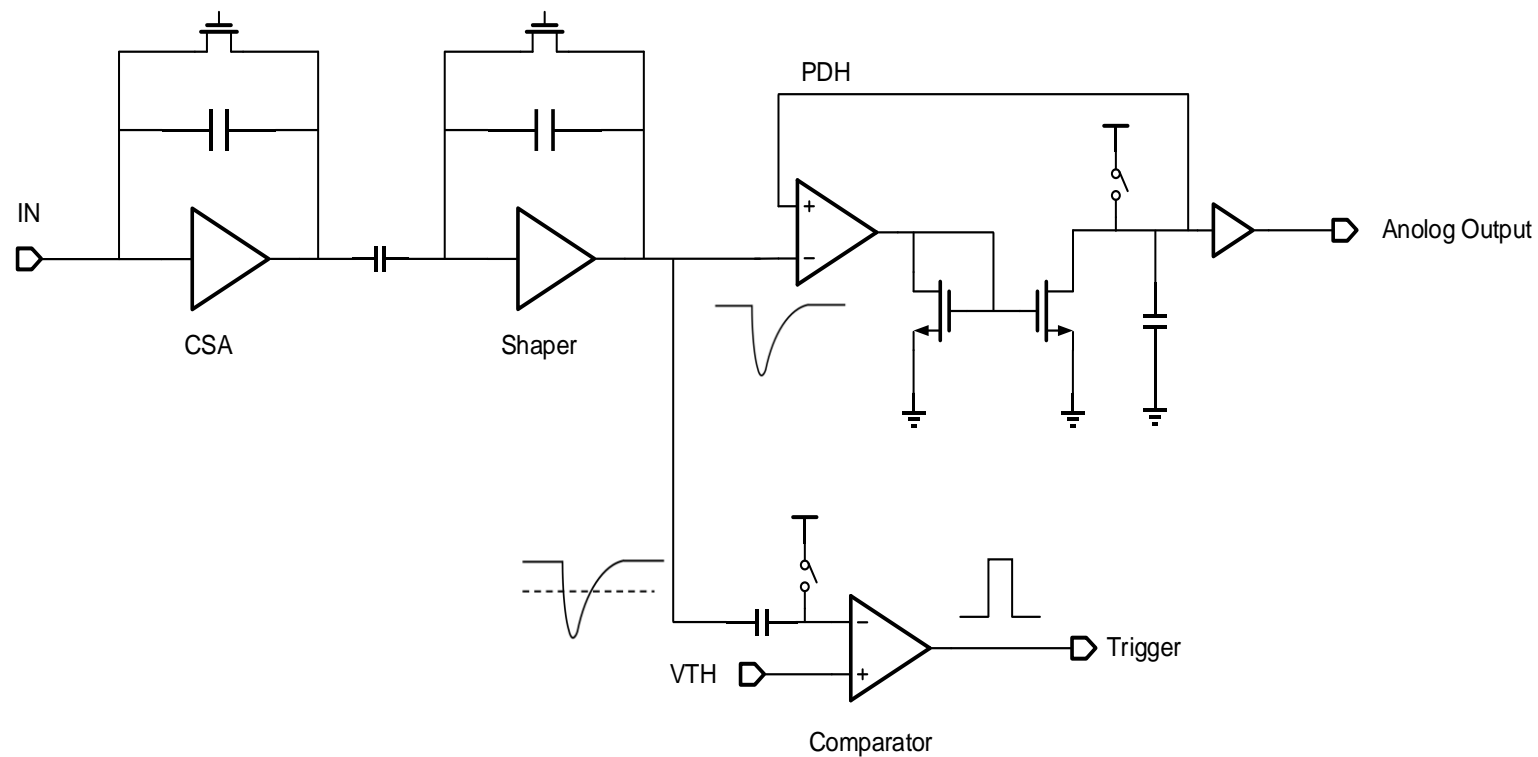


c. 用于eXTP 中PFA（偏振测量聚焦望远镜阵列）偏振读出ASIC设计

像素电路

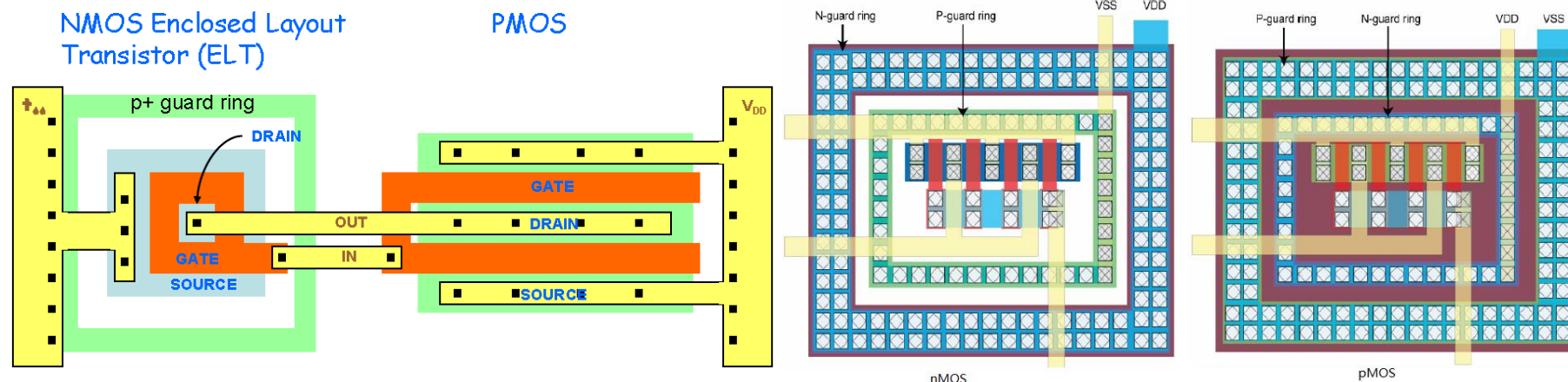
电荷灵敏放大器+成形器+峰保

四像素共用自触发产生模块，减小面积，提高信噪比

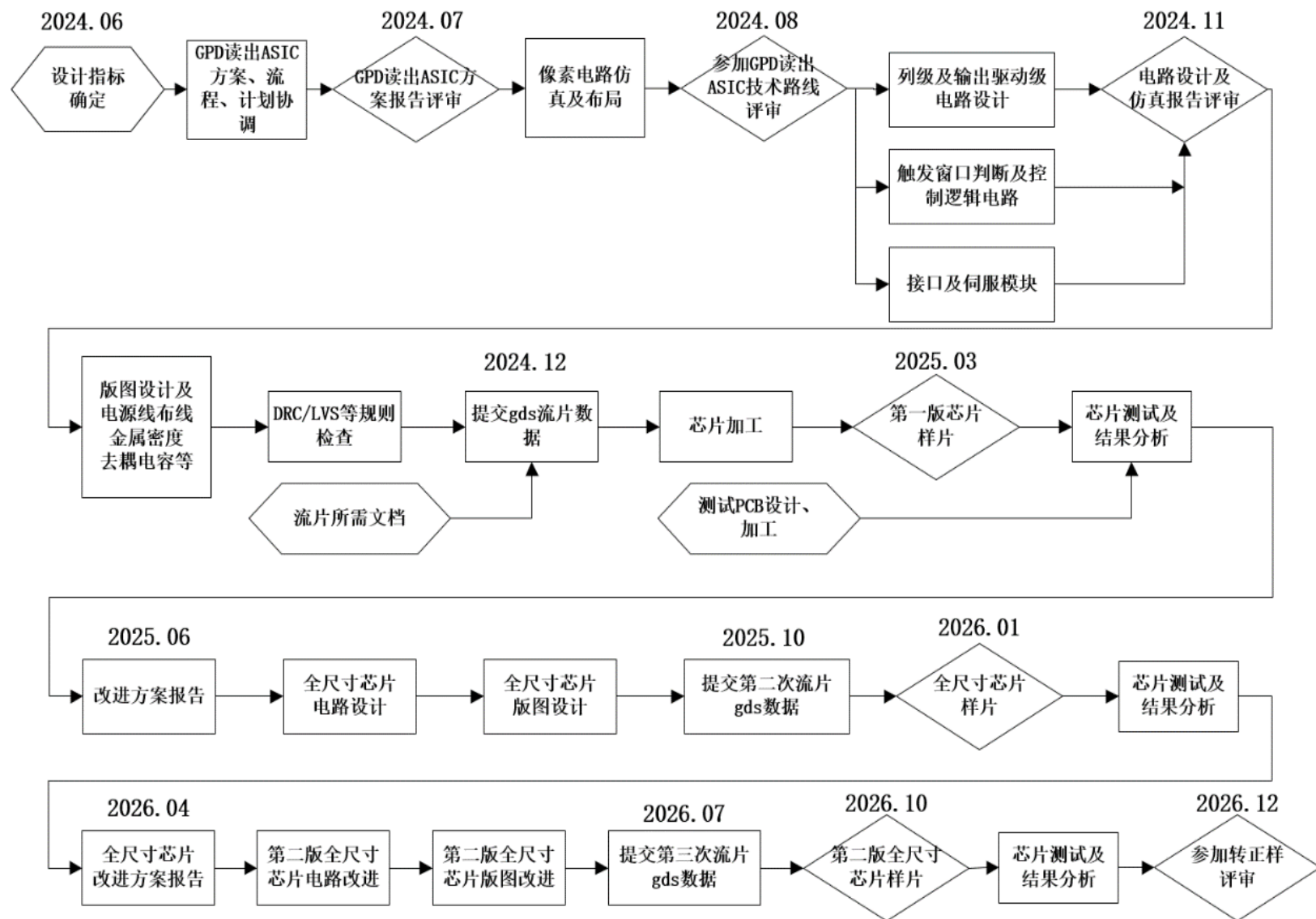


• 抗辐射设计:

- 预计芯片的抗辐射指标
 - 总剂量效应 (TID) $\geq 30\text{Krad Si}$
 - 单粒子翻转 (SEU) $\geq 22\text{MeV}\cdot\text{cm}^2/\text{mg}$ (主要配置单元)
 - 单粒子锁定 (SEL) $\geq 37.5\text{MeV}\cdot\text{cm}^2/\text{mg}$
- TID: 先进工艺、环栅MOS管
- SEU: 空间冗余、RC 滤波、状态冗余或互锁存储单元DICE等
- SEL: 保护环



PFA（偏振测量聚焦望远镜阵列）进度安排



与北京大学合作：

高能所：总体设计，像素设计
初步测试，详细测试。

北大：阵列读出设计

参与人：

王科，王娜，北大3人，
魏微 review

2、本人研究成果（论文、专利、创新性技术发展、获奖等）与经费情况

入选专著： 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

创新性技术发展：

低噪声读出芯片，具有领先水平；
抗辐射功能，破除国外禁运，提升系统可靠性；
前放成形峰保结构的像素阵列型芯片，较同类TOT型芯片提高了性能。

经费

1. 2022年 所创新 编码孔径康普顿综合伽马射线探针 (SCOPE) 预先研究——子课题 ASIC研发 70万 (总120万)
2. 2023年 科技部国家重点研发计划 “基础科研条件与重大科学仪器设备研发” 二维平面中子探测器研究 读出ASIC研制 课题负责人约80万 (总400万)
3. 2024年 研发中心 CZT半导体探测器SPECT (60万 王娜负责/总450万)
4. 2024年 eXTP 项目PFA 读出芯片研制。 (计划 500万 与北大共用)

Conny Hansson
Krzysztof (Kris) Iniewski *Editors*

X-ray Photon Processing Detectors

Space, Industrial, and Medical
applications

 Springer

3、学术交流、学术发展规划

学术交流:

第四届半导体辐射探测器研讨会 2024年5月 青岛
半导体探测器单通道读出芯片CPRE_1CH 的研制和应用

第二十二届全国核电子学与核探测技术学术年会 2024年7月青岛
从CPRE_1CH单通道读出芯片研究能谱型读出芯片及系统的设计要点

学术发展规划:

专注于辐射探测器低噪声读出芯片与系统的研制

4. 公共服务

RDTM, 探测技术与核电子学 审稿

评审专家:

所研发中心PET重点研发计划芯片设计review,

所研发中心PET重点研发计划中期评估;

HERD载荷增强相机sCMOS器件工程可行性评估;

原子能院抗辐照图像传感器立项评估 等。

三、存在问题

eXTP项目难度大，时间紧。

和已有项目时间暂时冲突，导致其它项目延迟。

四、下年度工作计划

1. 完成32通道->64/128通道 读出芯片的扩展设计。
2. 完成偏振读出芯片初版 (50*50像素) 。
3. 开展以上芯片的测试/读出系统研制 (协助) 。