



# 年度考核 工作报告

---

王 科

电子学组

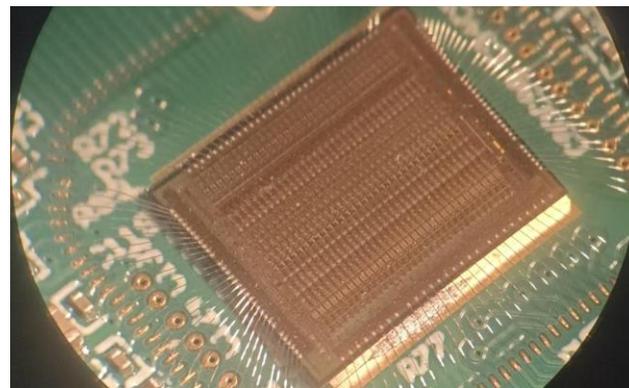
2024.11.22

# 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。

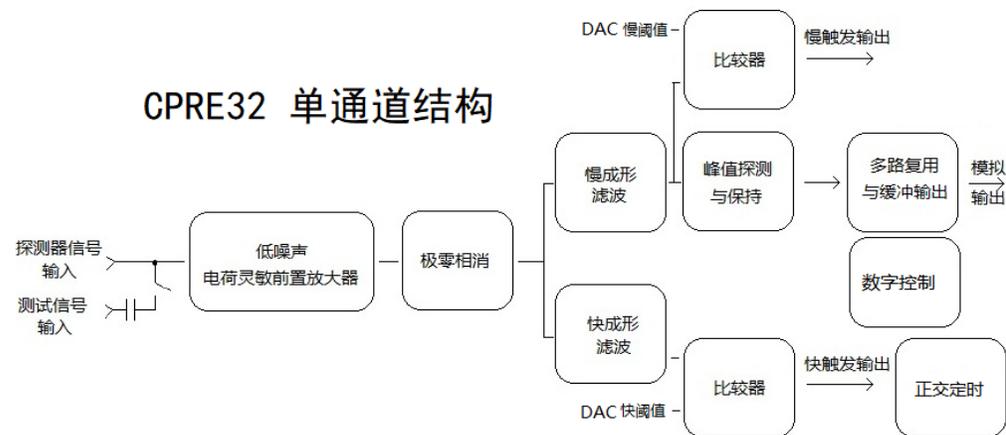


“跨中心ASIC研发 根据所探测器电子学相关讨论，初步落实明确相关方向的研发力量  
天体方向：王科、王娜 散裂方向：李怀申”

## 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

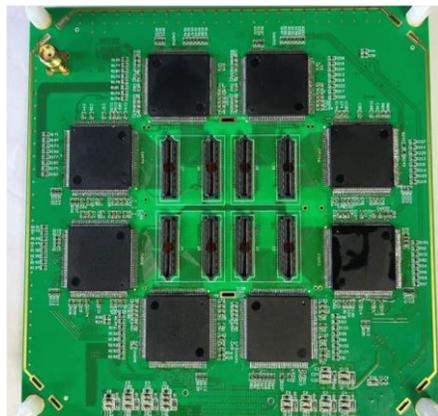
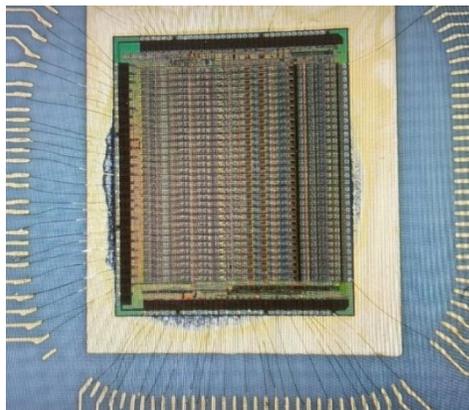


本系列芯片目前应用:

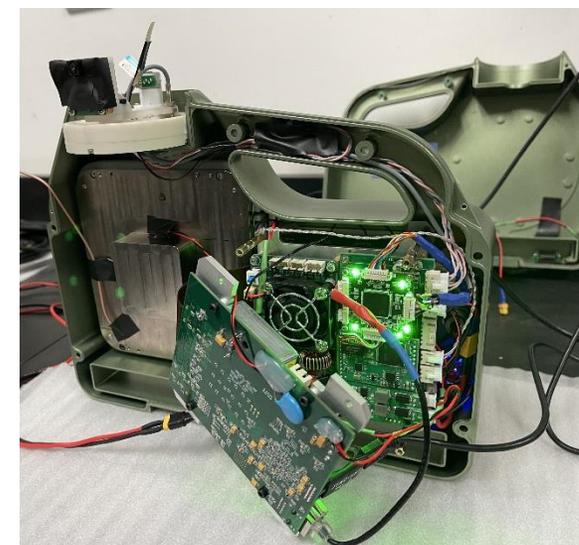
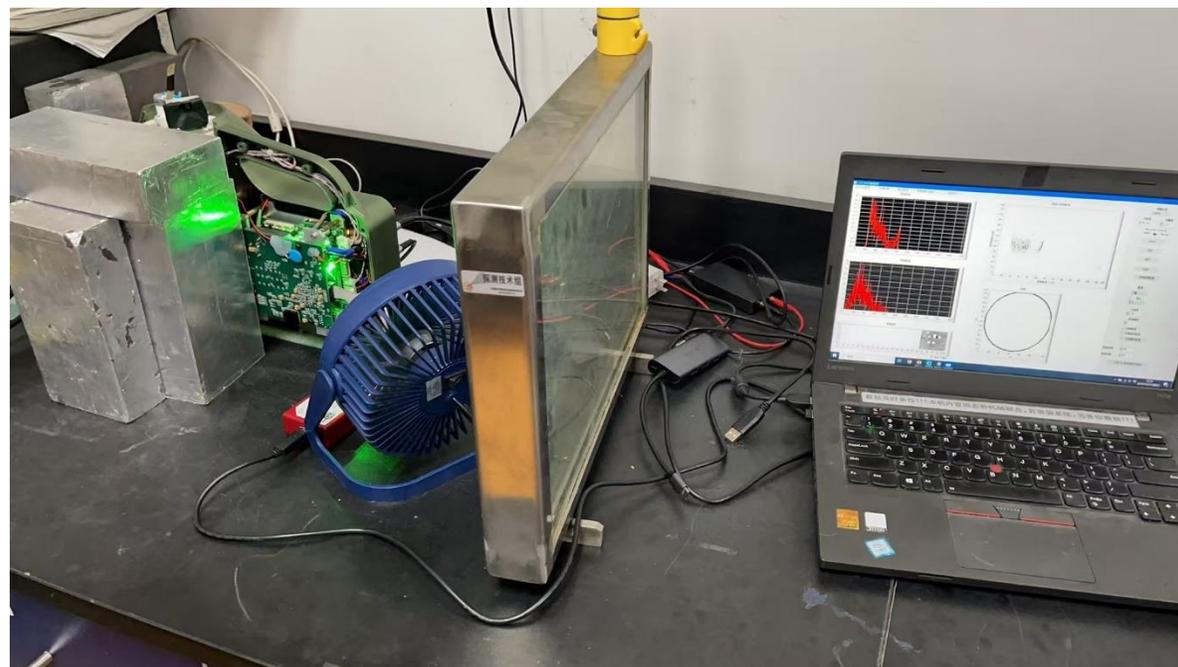
- 研发中心 CZT半导体探测器康普顿 $\gamma$ 相机 **(完成)**
- 研发中心 CZT半导体探测器SPECT (单光子发射计算机断层扫描) **(进行中)**
- 天体中心 编码孔径康普顿综合伽马射线探针 (SCOPE) 预先研究 **(进行中)**
- 天体中心 宽波段X射线偏振与能谱卫星(WXPT)中TPC读出 预研 **(进行中)**
- 实验中心 二维平面中子探测器中SiPM 多通道能量测量 (重点研发计划) **(进行中)**

**设计芯片 (负责) , 指导系统设计**

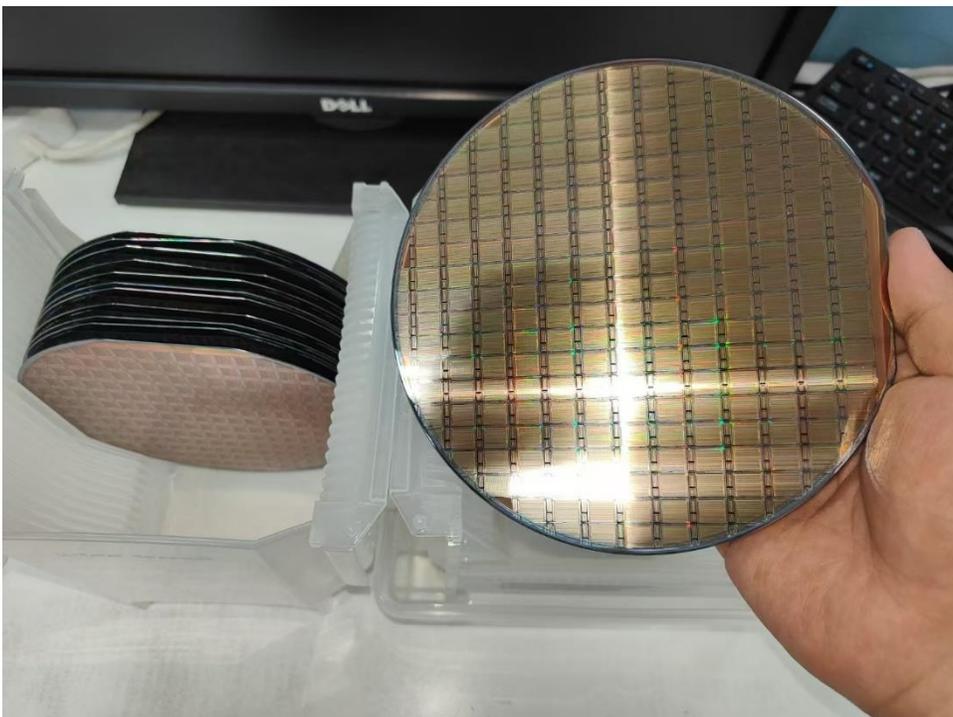
## a.CZT康普顿相机



32通道芯片

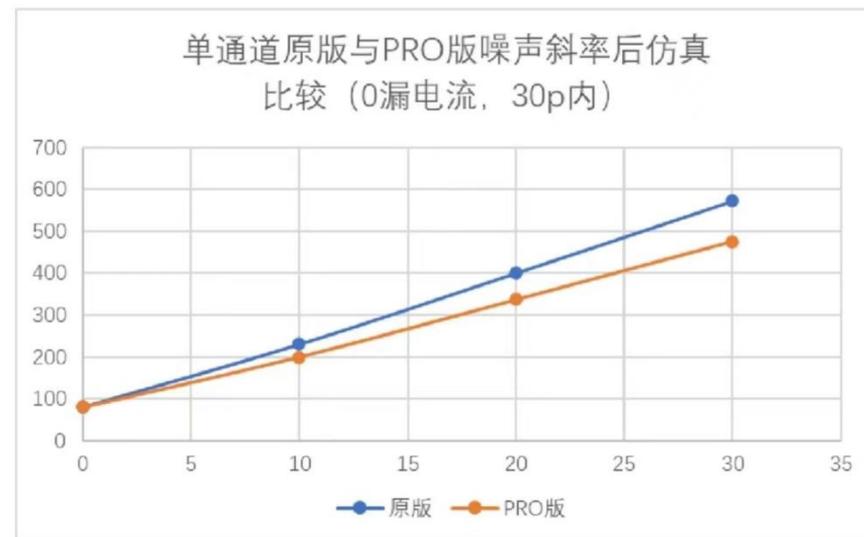


## 完成32通道芯片优化设计,



2) 输入噪声:

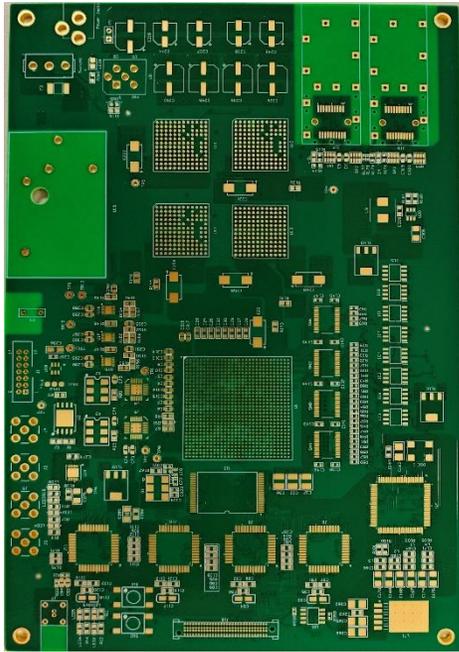
$80e+13.2e/pF$



(旧版) :  $81e+16.4e/pF$ ,

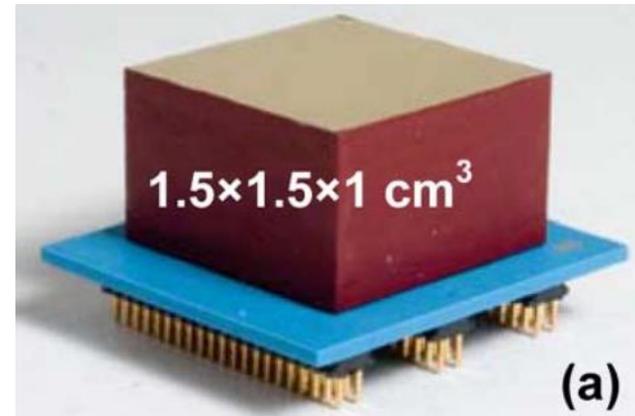
## b. 研发中心 CZT半导体探测器SPECT (60万/450万)

---



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：

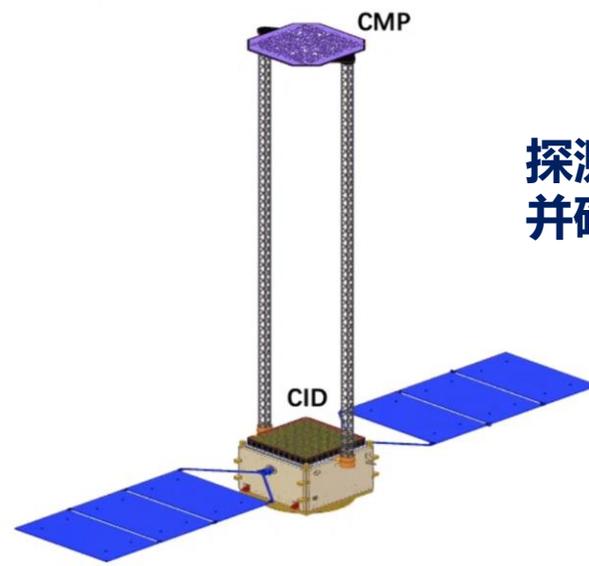


### 常规科学目标：



### 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)



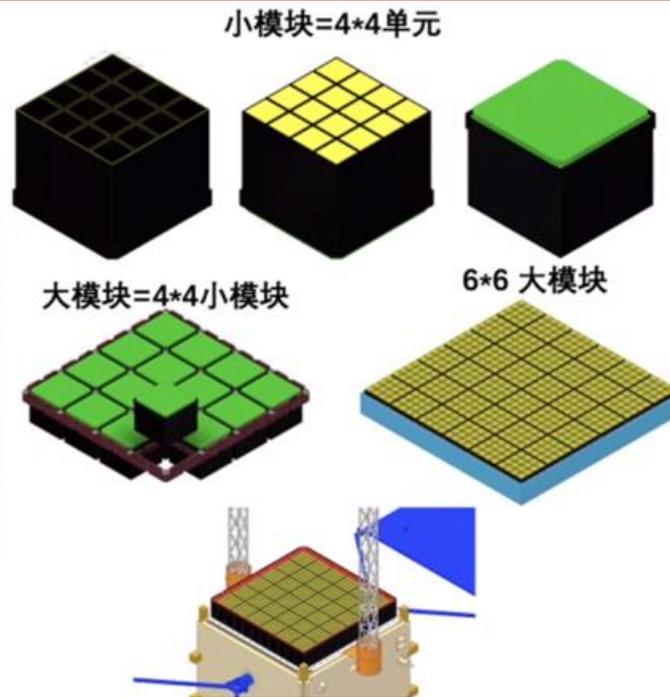
探测1MeV的伽马射线，并确定位置。

## 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)

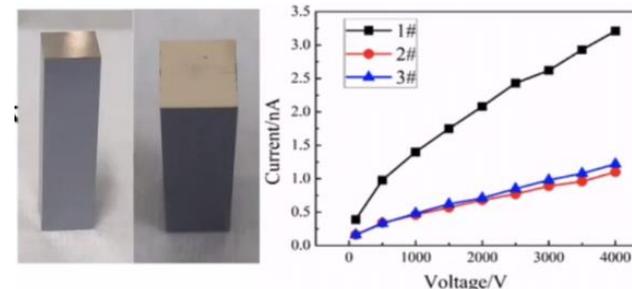
探测器	双层3D- CZT(碲锌镉)
覆盖面积	100cm*100cm
单元尺寸	8mm*8mm*25mm
能量分辨	$\leq 1.5\%$ @662keV
位置分辨	$\leq 1.5$ mm

CZT室温半导体探测器：能量分辨接近高纯锗(HpGe)



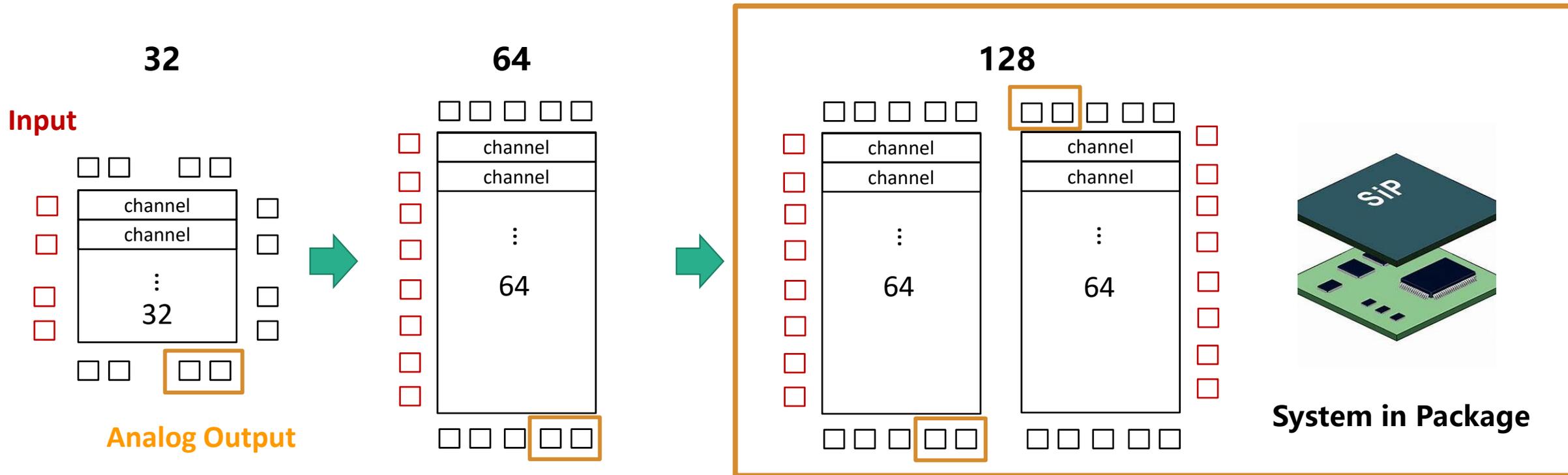
- 3D-CZT的发展有两种技术路线：像素型和 虚拟弗里希型(VFG)

	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 <sup>3</sup> )	5阳极,1阴极(3ch/cm <sup>3</sup> )
能量分辨FWHM	0.5~0.9%@662keV	0.7~1.0%@662keV
三维位置分辨	$\leq 1$ mm	$\leq 1$ mm
晶体品质要求	能谱级(高成本)	标准级(低成本)



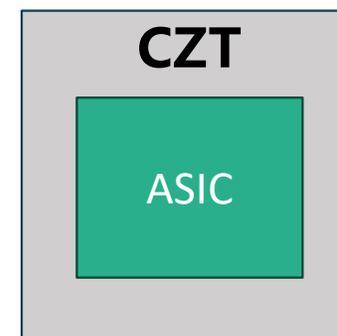
VFG-CZT样品及V-I曲线

# 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:  
 $2.2 * 2.2 \text{ cm}$

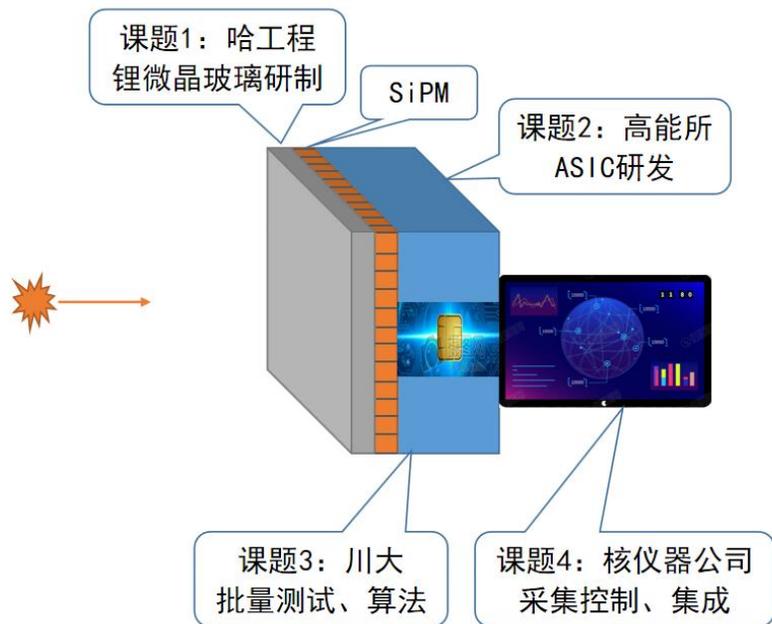


实现“背对背”的方式，优化噪声和布局

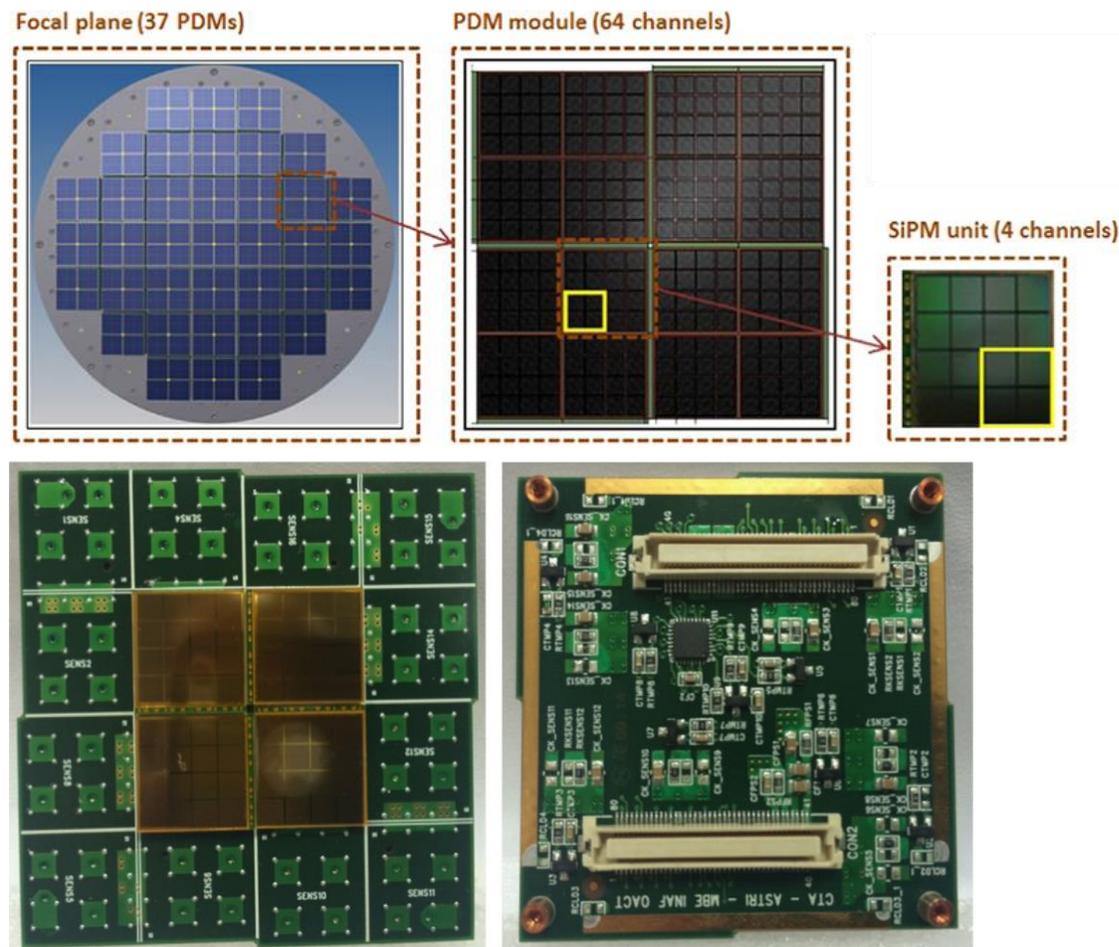
## d. SiPM 多通道能量测量 国家重点研发计划 二维平面中子探测器研制

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

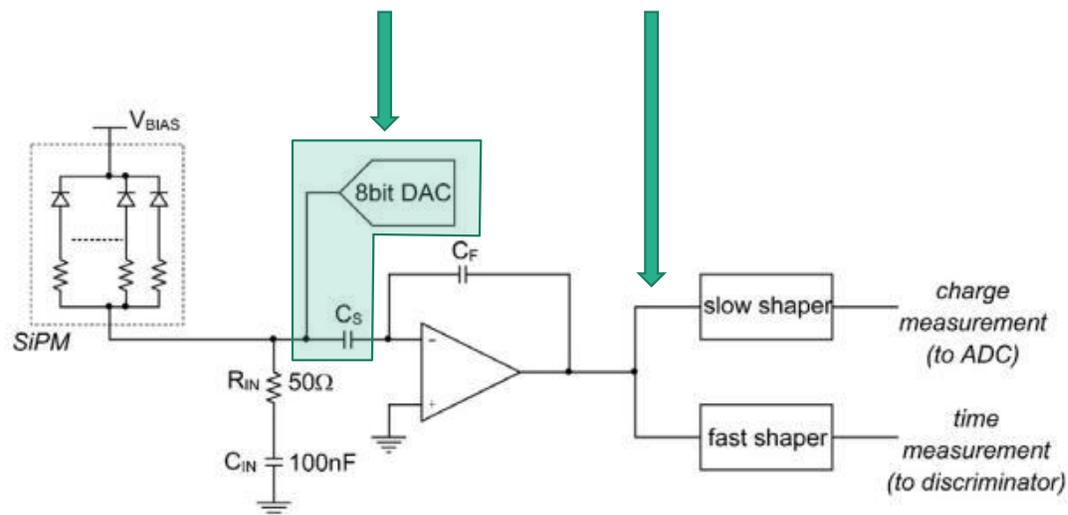


SiPM 64\*64通道, 共4096通道一一读出

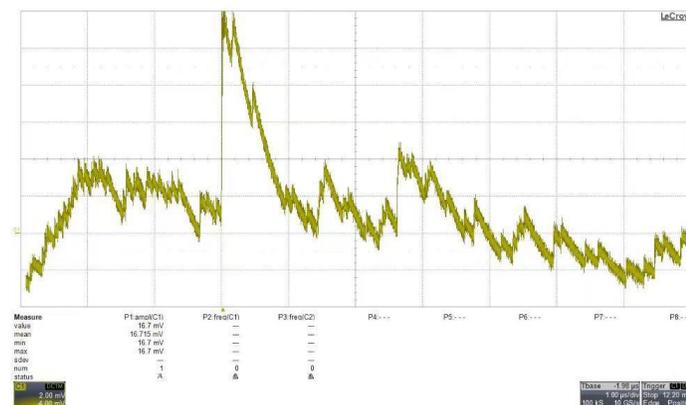
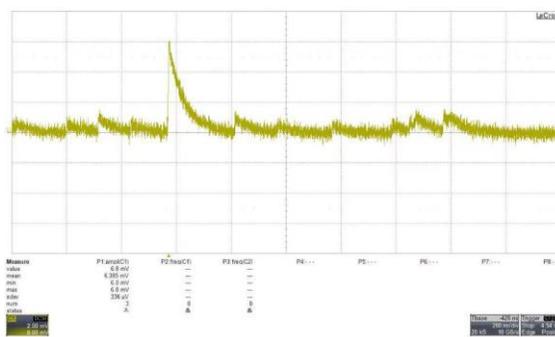
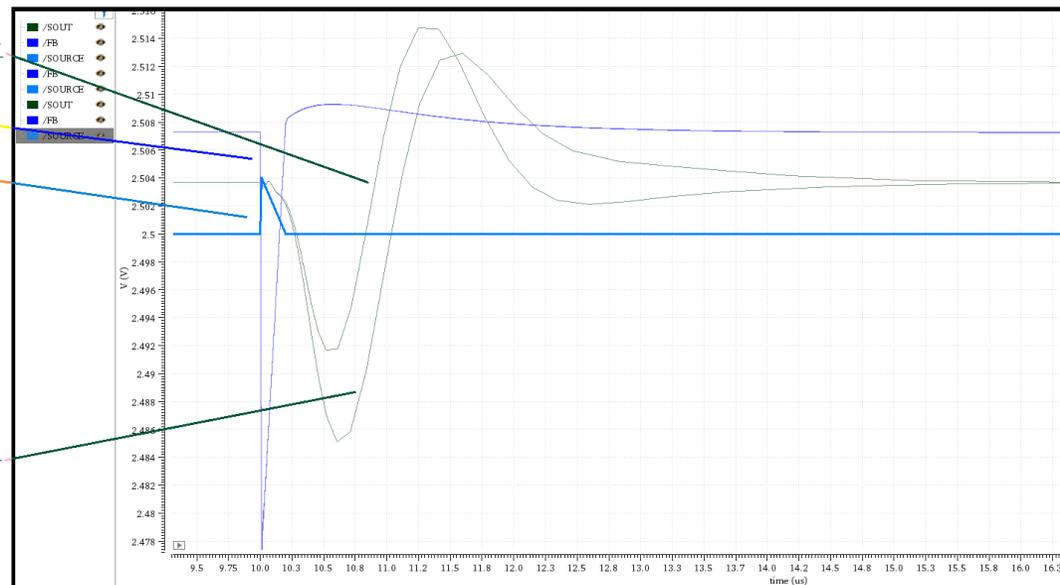
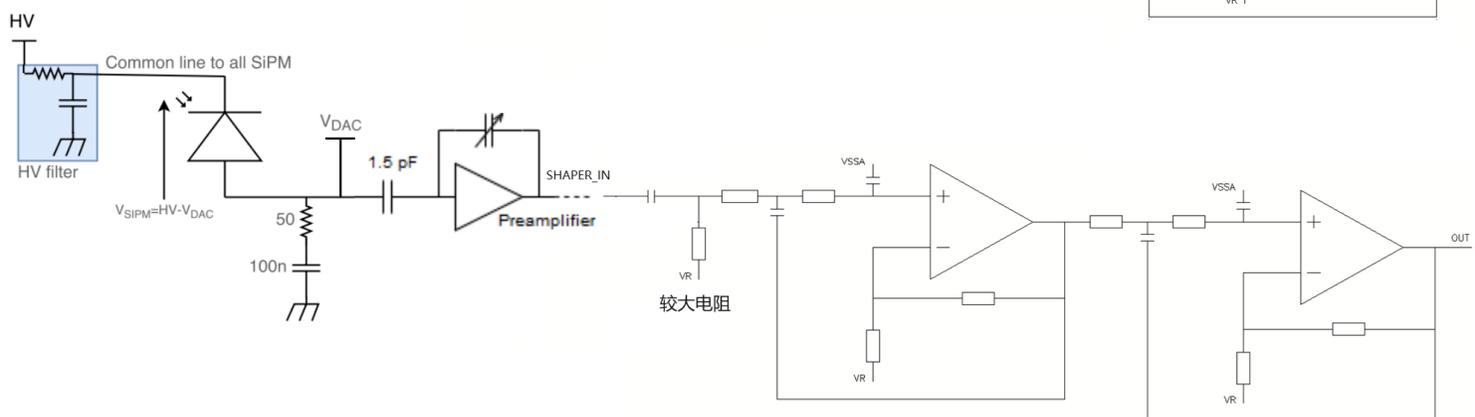
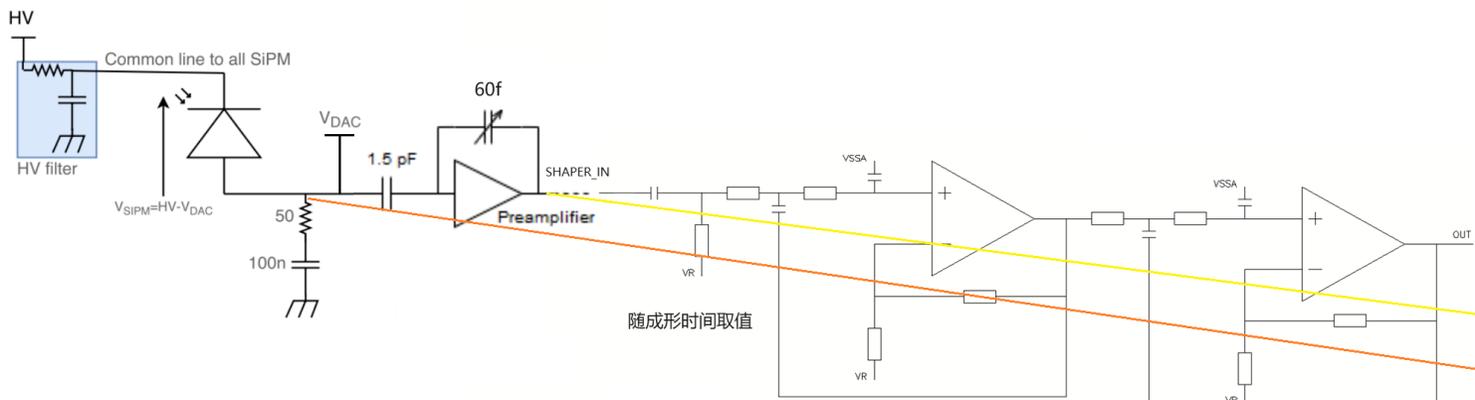


## SiPM 多通道能量测量 国家重点研发计划二维平面中子探测器研制

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)

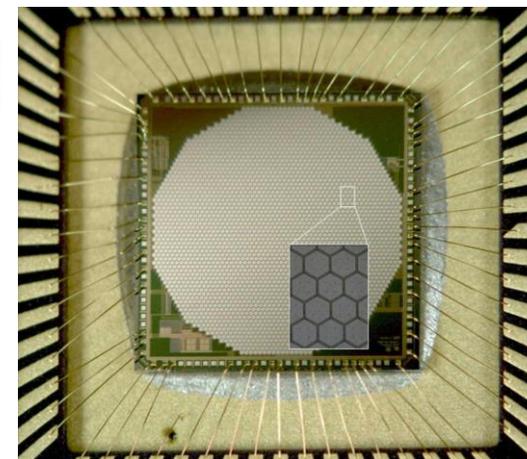
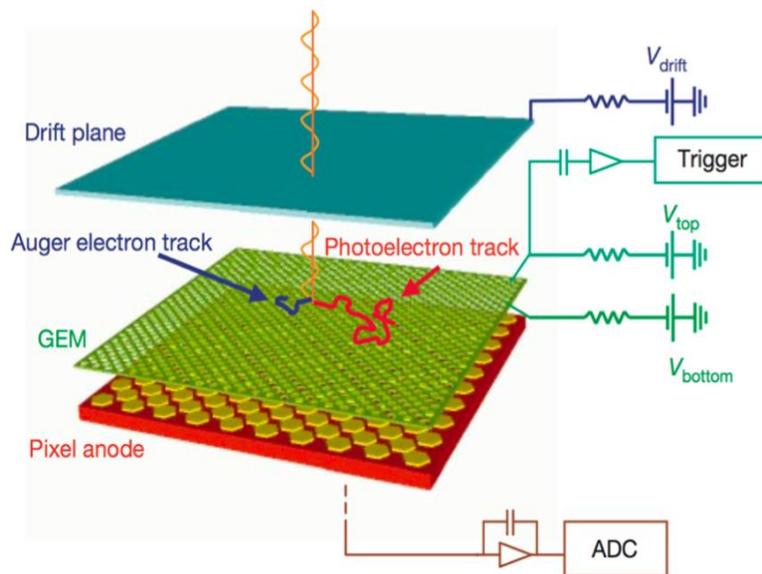


# 改动CPRE64, 增加采用全积分型成形功能, 保留SiPM信号



## 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。

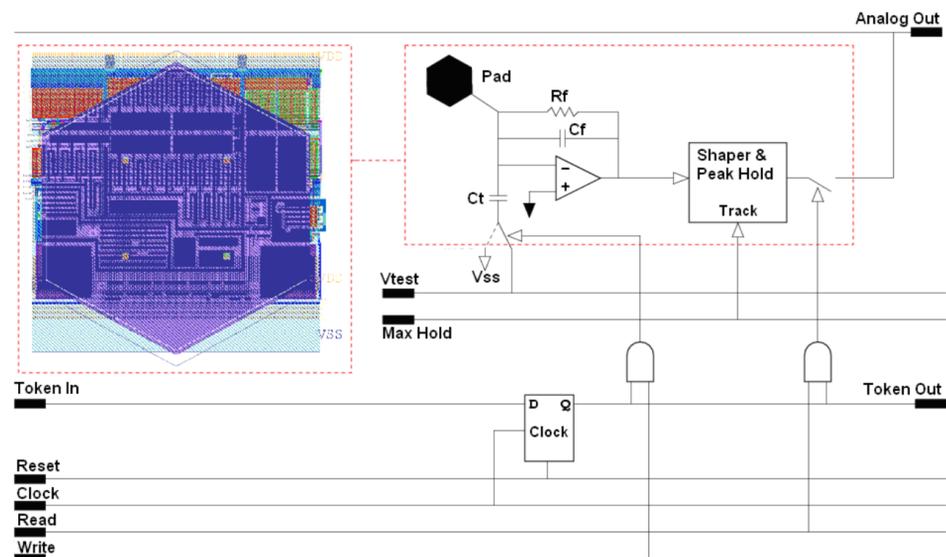


示意图

- 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

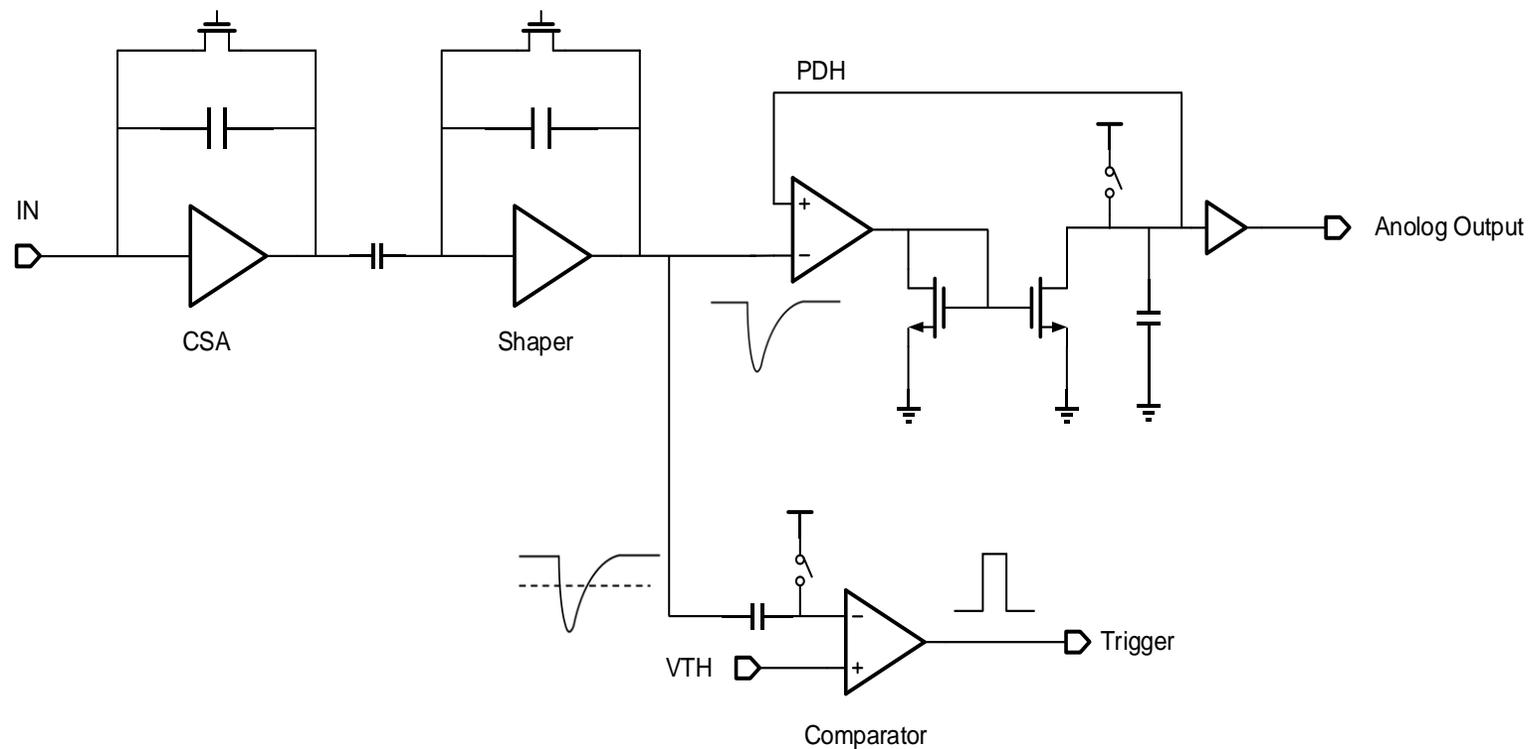


## c. 用于eXTP 中PFA (偏振测量聚焦望远镜阵列) 偏振读出ASIC设计

像素电路

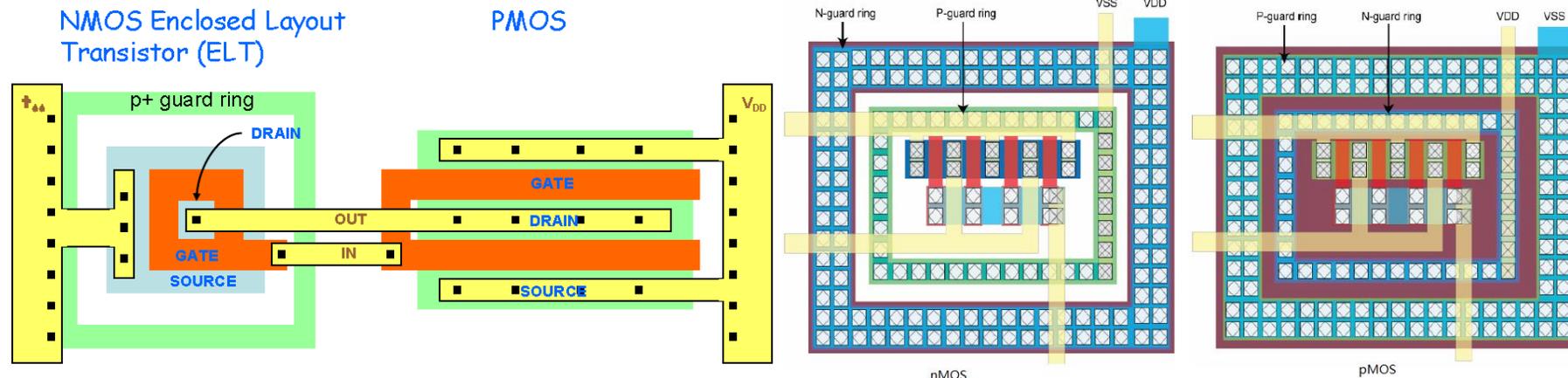
电荷灵敏放大器+成形器+峰保

四像素共用自触发产生模块, 减小面积, 提高信噪比

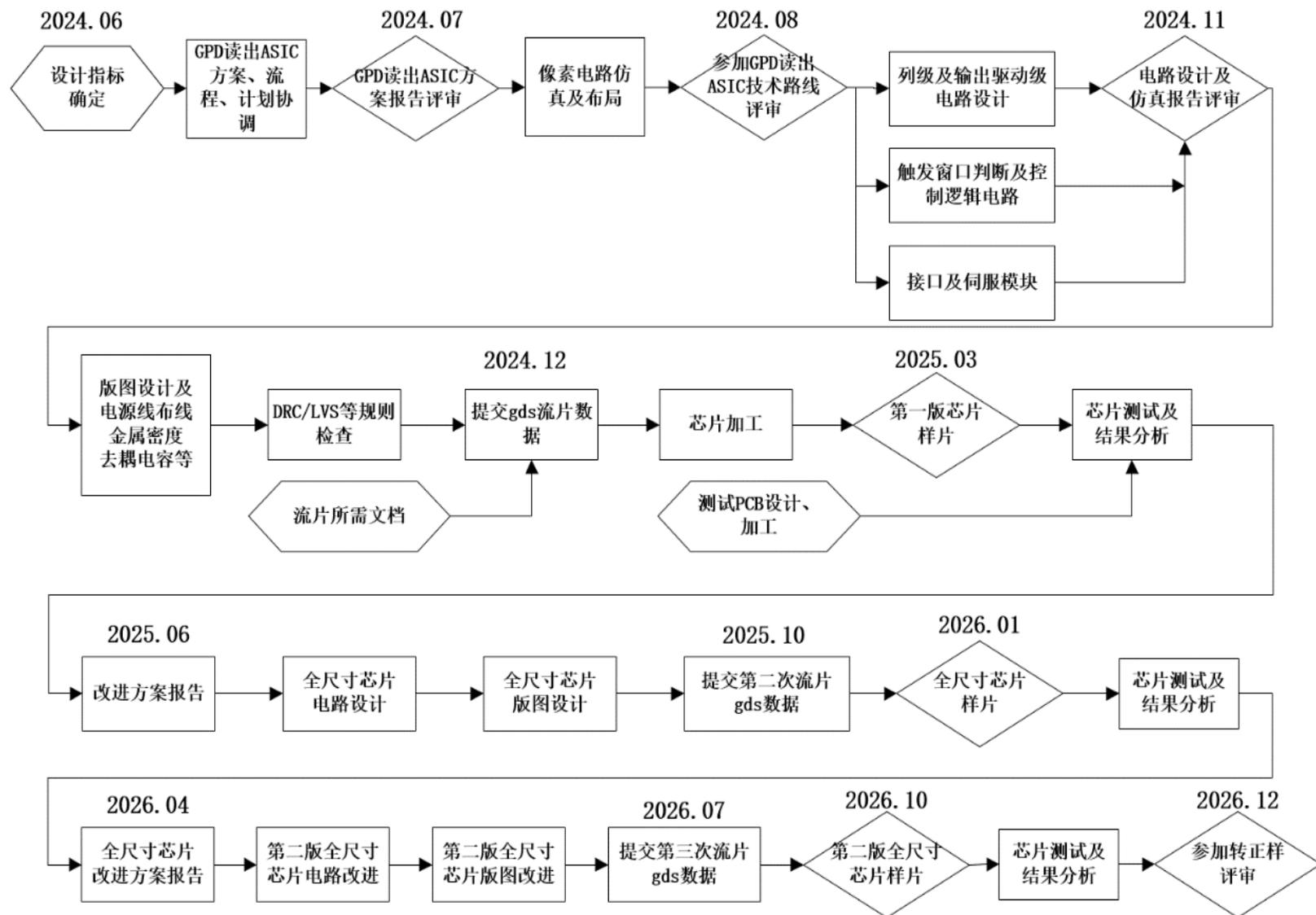


## • 抗辐射设计:

- 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) 。