

# “半导体探测器”课题情况汇报

王建春

科学家工作室及卓越中心项目总结会

2022.02.15



- ❖ 子项目课题： 半导体探测器
- ❖ 经费来源： 所长科学家工作室和卓越中心
- ❖ 总经费： 400 万人民币
- ❖ 主要目标： 支持半导体探测器实验室仪器装备、研究团队的建设、以及探测器技术的研发
- ❖ 主要成员： 王建春、朱宏博、董明义、祁辉荣、史欣、梁志均、陆卫国、李一鸣、刘佩莲、陈缮真、王聪聪、张希媛、...

感谢各位同事提供素材，协助整理这份报告！



# 主楼B-106半导体探测器洁净间实验室



拉力测试仪 和 环境箱 由本课题提供

Class 10,000



整个洁净间和设备总花费约600万，经费来自多个渠道。感谢 所长科学家工作室和卓越中心、国家重点实验室、清华大学、和科技部项目等的支持。

实验室主要用于ATLAS ITk和HGTD (预计2026-28安装)、CEPC半导体探测器等，也以其它有需要的探测器研发提供技术支持。



# 本课题支持的主要仪器设备(B-106)



ESPEC 环境箱 ~16万，用于电子学元器件的老炼测试



DAGE 拉力测试仪 ~50万，用于引线强度测试，以调整打线机参数和QA测试

天平 ~4万



真空泵 ~3万



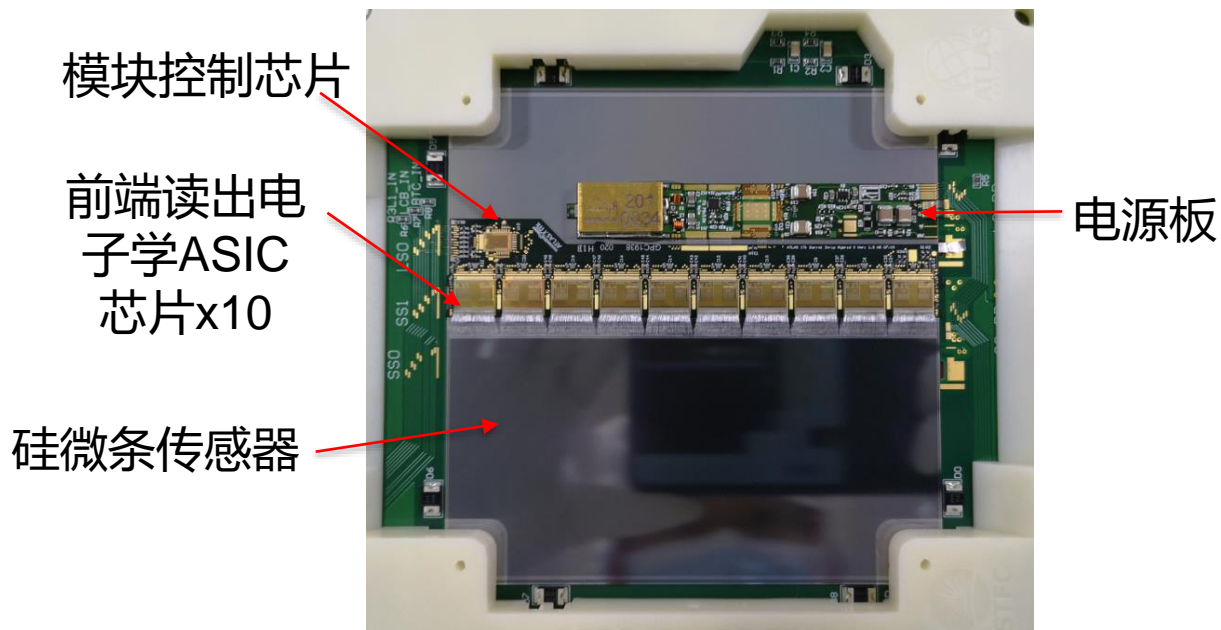


# B-106半导体探测器洁净间的现状



实验室的性能已满足ATLAS ITk模块生产的要求。

高能所模块生产站点于2021年11月底通过复合板制作考核，即将开始预生产及之后的批量生产。



Itk长微条模块



高能所ATLAS团队成功生产第一块ITk短微条模块



# 三号厅半导体探测器洁净间实验室



本课题提供LCR表 ~ 12万，用于传感器的性能测试。

AMS L0半导体径迹探测器升级项目将以本实验室为基地，生产和测试探测器Ladder。

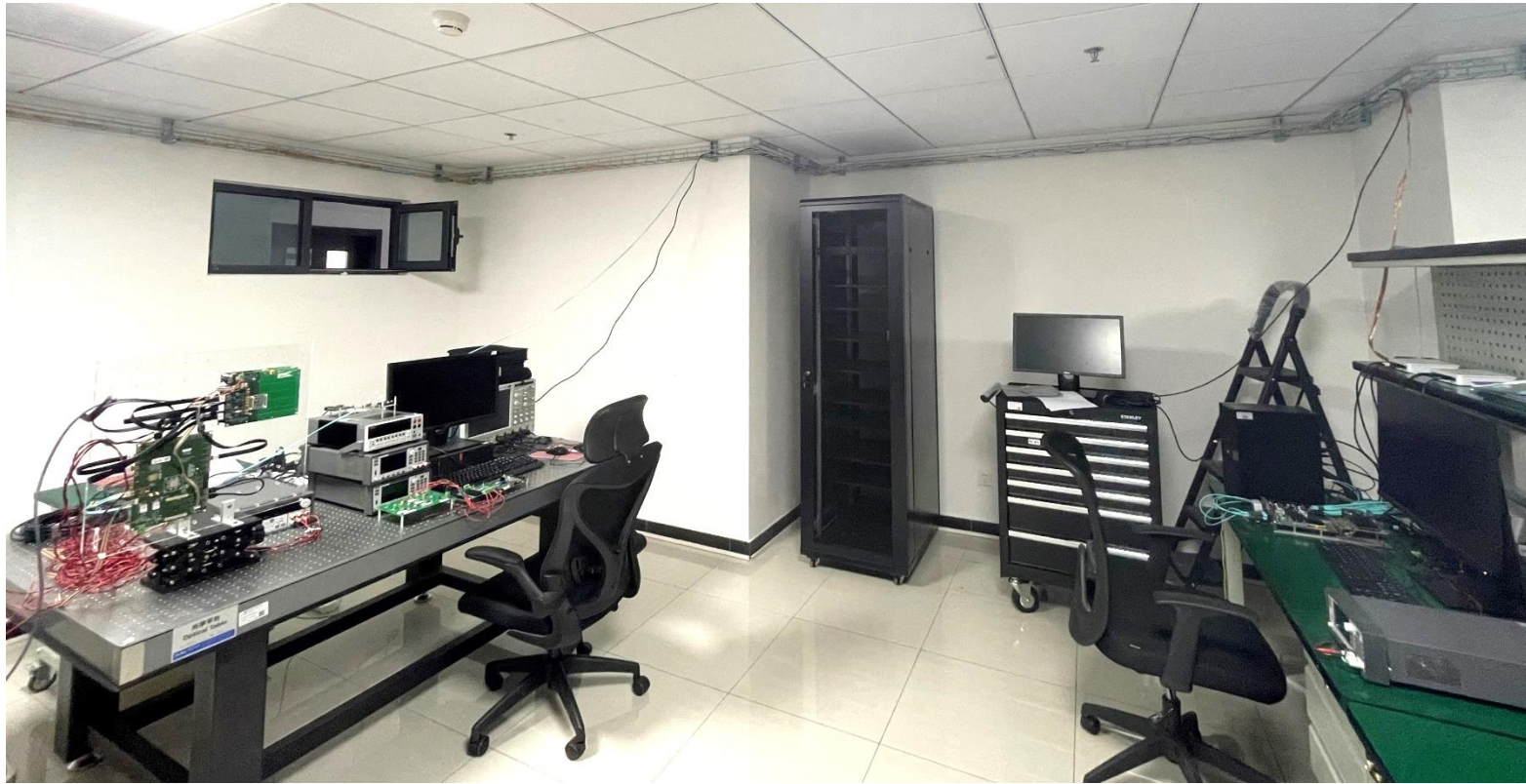




- ❑ 建成十万级洁净棚 ~ **9万**
- ❑ 用于对环境洁净度有一定要求的半导体探测器的测试研究，于2020.11.19正式启用。
- ❑ 在B-107实验室内搭建层流棚，避免建造过程对B-106的仪器设备，及项目进程造成影响。



# 多学科大楼504探测器研发实验室



感谢高能所提供504实验室，已经用在LHCb上游径迹探测器、和CEPC HV-CMOS硅像素探测器的研发。

利用搭建的系统，成功地在CIAE和CSNS进行了辐照实验，研究前端电子学读出芯片的单粒子反转效应。

2022.02.15

TDP3500差分探头~ 12万



NIM信号系统 ~ 44万







## 本课题提供种子经费协助引进人才 经费也主要用于半导体探测器



刘佩莲  
2019.9入职

- ❖ 先进半导体探测器及前沿物理研究
  - ATLAS ITk 探测器模块的生产, **负责**和RAL合作生产部分模块,
  - 抗辐照半导体探测技术的研究,
  - BES III物理分析 (在这里不作介绍)。
- ❖ 人才项目经费 (SiDet + ITk + 高能所匹配) = 100+100+200 = 400万;
- ❖ 已获得海外优青 100万 (21年11月起), 及中科院“0到1”无人区计划支持。



# P型外延片辐照损伤研究

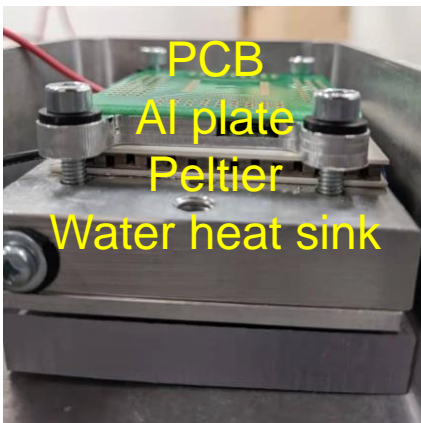
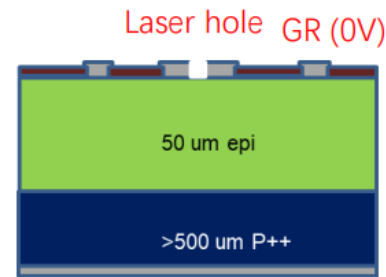
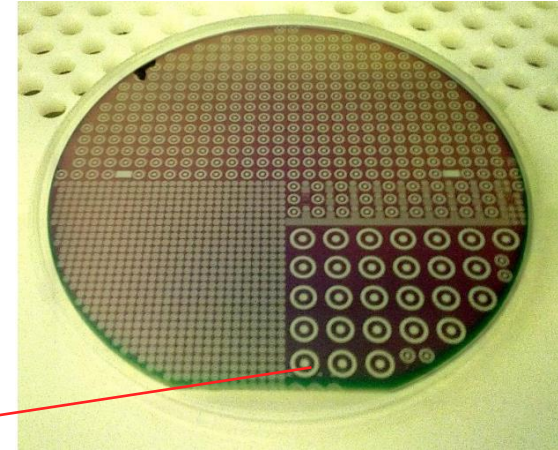


## 研究辐照后的体损伤机理 → 设计抗辐照传感器

- ❖ 肖特基二极管：工艺简单，不需要离子注入
- ❖ PN结：尝试了相同外延片做PN结，技术问题导致漏电流极大

## • 电荷收集效率测试

- 红外激光，干燥低温环境
- 辐照后的样品刚返回RAL



高能所肖特基二极管测试系统





# 探测器团队建设 (II)



## ❖ CEPC味物理潜力及探测器研究

次  
↑  
主

- 半导体探测器技术 (HV-CMOS探测器, AMS L0升级, ...),
- 微通道半导体+双相CO2冷却技术 (祁辉荣),
- CEPC与LHCb味物理的研究,
- CEPC物理与技术的宣传普及, 组织编写CEPC简报。



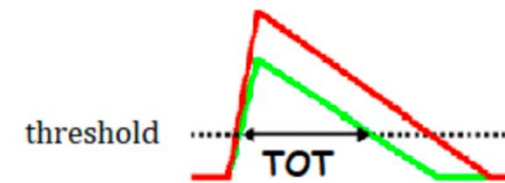
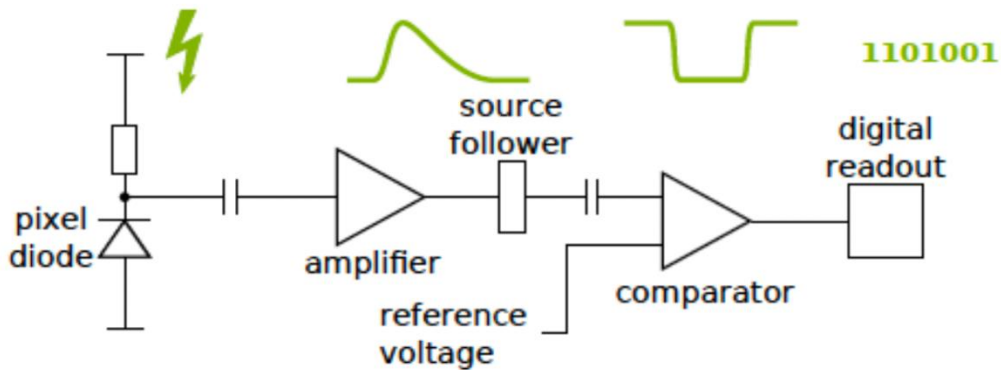
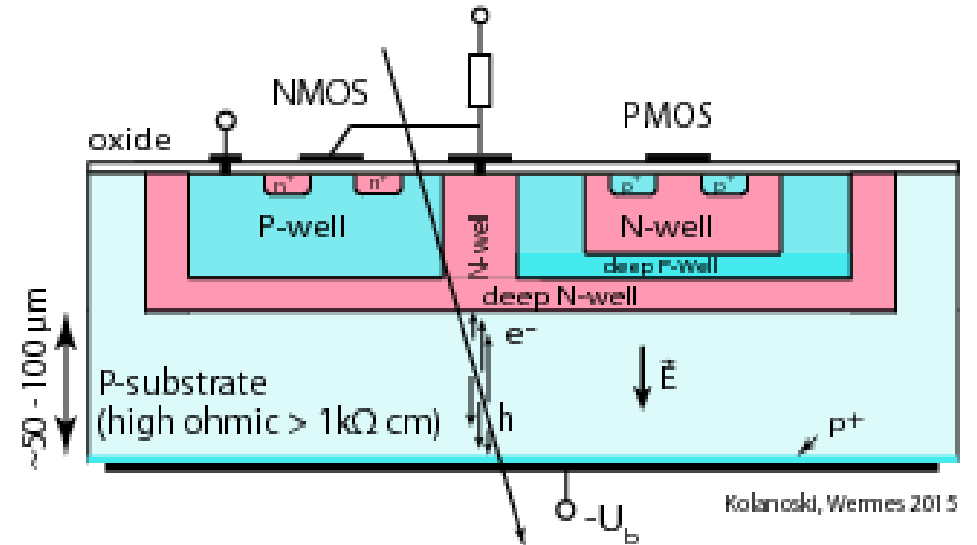
陈缮真  
2020.12入职



❖ 目前其它匹配经费尚未拨入; 正在准备申请基金的经费。

## 本课题也提供经费支持研究硅探测器相关的技术

- ❖ 基于HV-CMOS工艺的硅像素探测器结构紧凑、高分辨、低功耗、快读出、抗辐照、造价低。
- ❖ 该型探测器是CEPC径迹探测器一个重要选项。
- ❖ ATLASPix3芯片：像素元  $50 \times 150 \mu\text{m}^2$ ，功耗  $\sim 140 \text{ mW/cm}^2$  (TSI 180nm HV process on  $200 \Omega \cdot \text{cm}$  substrate)。



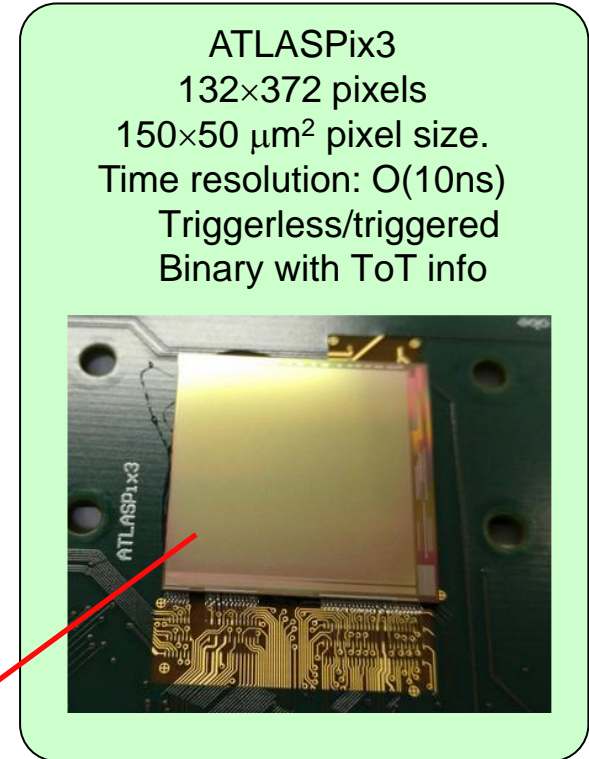
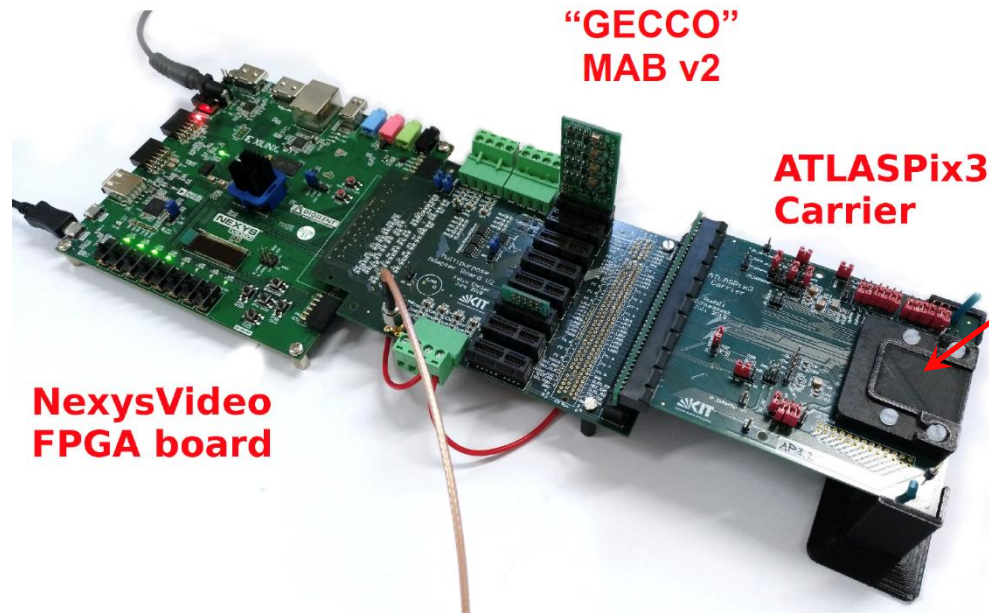
Time-over-Threshold (ToT) as proxy of signal amplitude



# HV-CMOS硅像素探测器单芯片测试系统



- ❖ 研发方案：
  - 利用已有的ATLASPix3, 研究掌握其性能优缺点,
  - 在此基础上推出适合CEPC的设计,
  - 尝试国产新工艺, 推动性能的改善和性价比的提升。
- ❖ 已在高能所搭建了单芯片测试系统, 作性能研究。
- ❖ 已收到改进版的V3.1芯片 即将开始测试。
- ❖ 制作单芯片载板若干, 除本团队研究外, 也支持了CEPC国际国内合作伙伴。



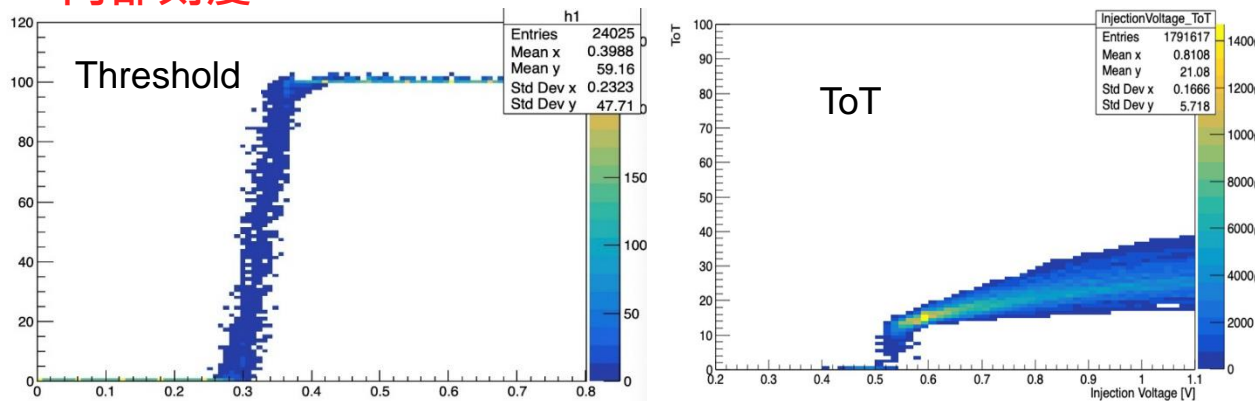


# HV-CMOS硅像素探测器测试



在高能所搭建了单芯片测试系统，利用放射源、宇宙线、和内部模拟信号，研究芯片性能。

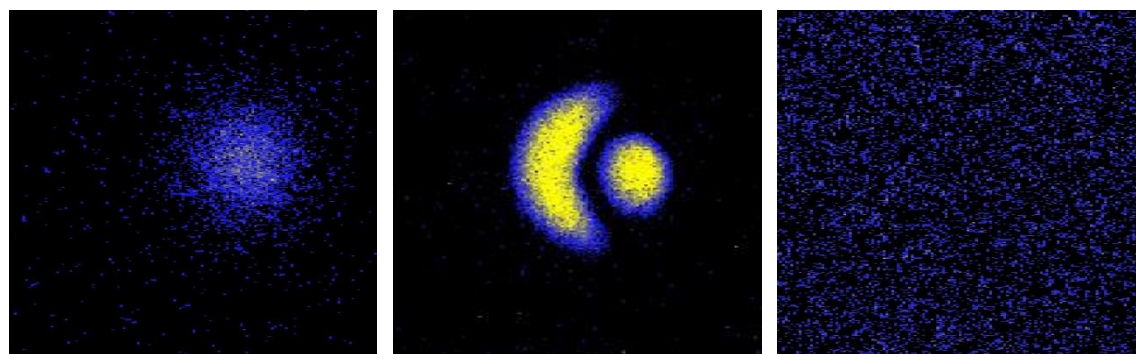
## 内部刻度



## 搭建芯片测试系统



## 放射源宇宙线测试

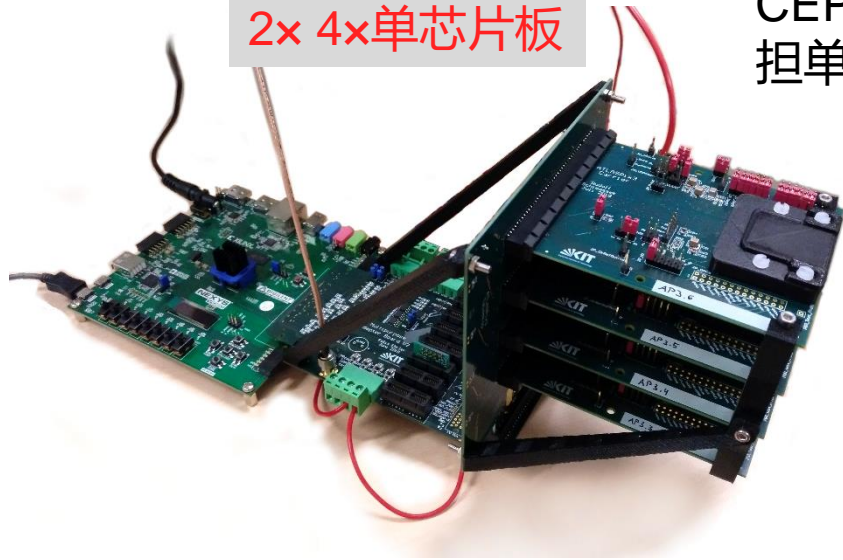


Sr-90 + collimator

Fe-55 + collimator

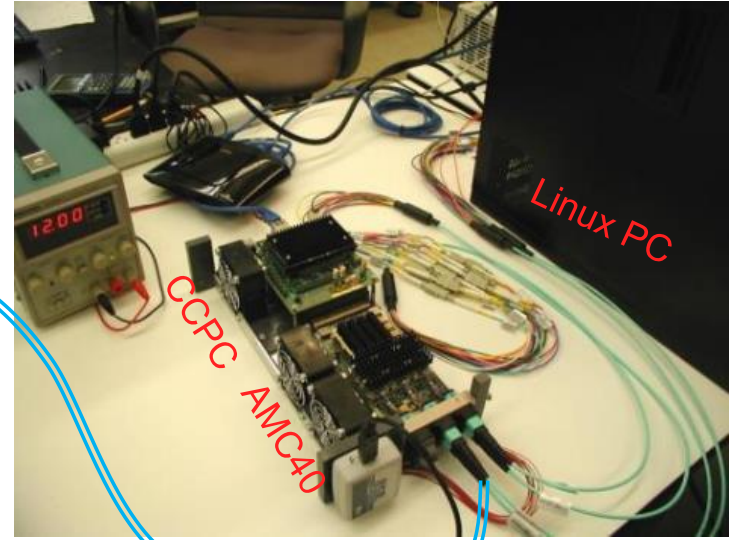
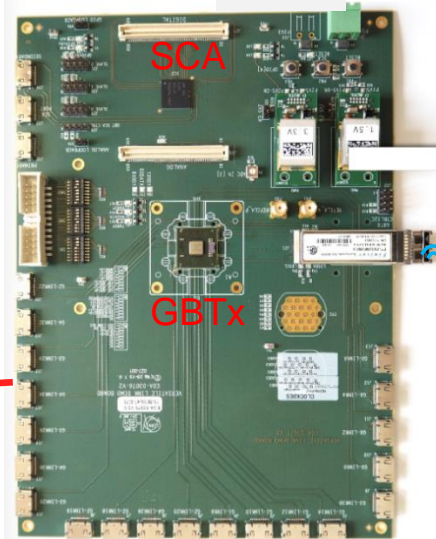
Cosmic ray

2x 4x单芯片板



CEPC国际合作团队搭建束流测试系统，高能所团队负担单芯片测试板，预计今年4月份在DESY束流测试。

VLDB

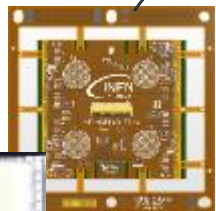


Felix based DAQ

High speed I/O board

Milano Quad-Module

High-speed I/O Interconnect



正在改造基于GBTx的数据获取系统，以更有效地支持多芯片系统。

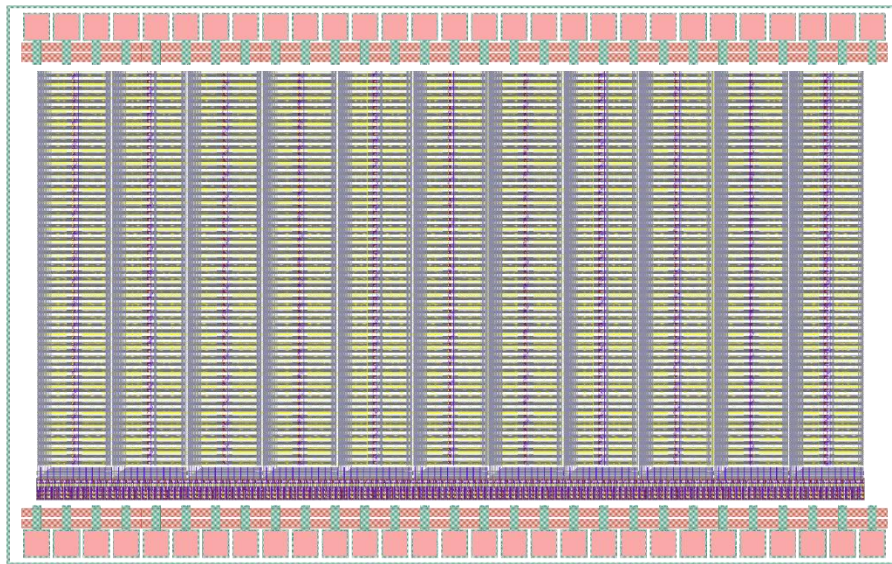
与德英意及国内单位合作，研制探测器验证样机，检测系统性能及设计方案的可行性。



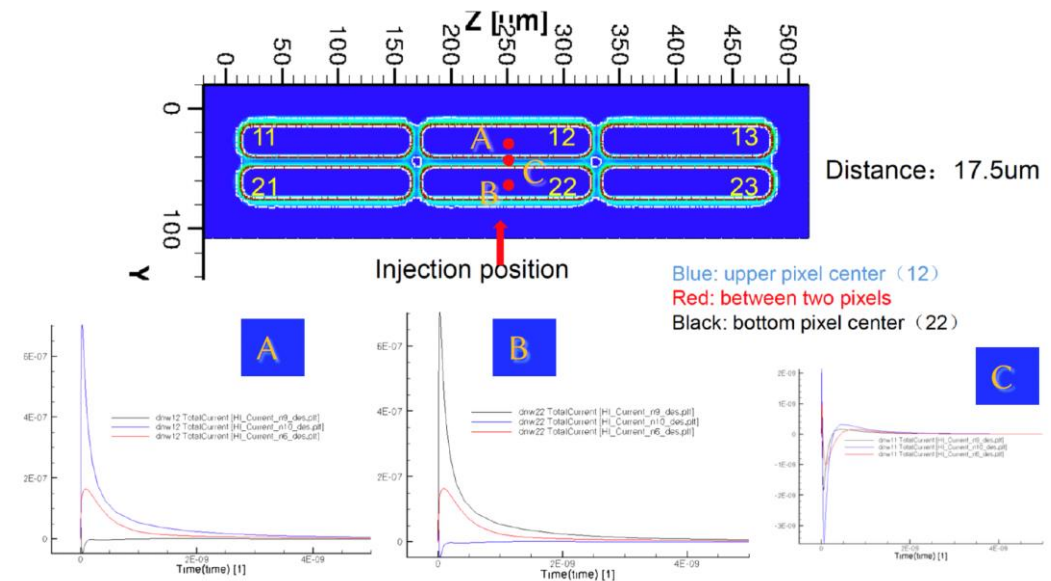
# 推动CEPC芯片和国产化



- ❖ 与华立公司合作，尝试国内的55nm工艺，改进性能，推动国产化。
- ❖ 计划一次MPW流片（~50万元，尚未支出），生产部分CEPC的测试结构，像素尺寸 $25 \times 150 \mu\text{m}^2$ ，低功耗和快速时间分辨。
- ❖ 初始计划是2021年8月，现争取2022年3月递交流片。
- ❖ 博士后董若石近期赴KIT，为期2年，参加HV-CMOS的研究设计工作。



*KIT design for CEPC test sensors*



*IHEP 6-pixel test structure*

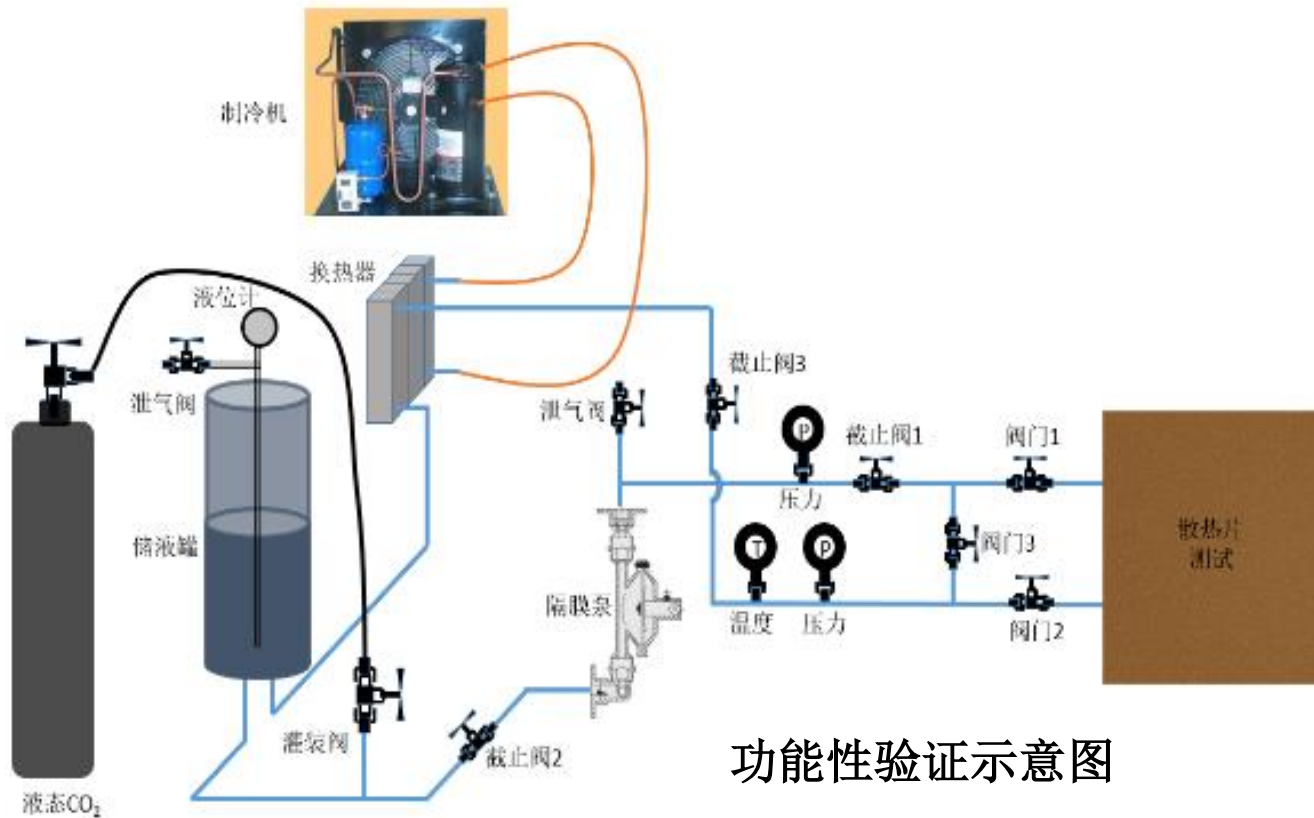




# 两相CO<sub>2</sub>冷却系统



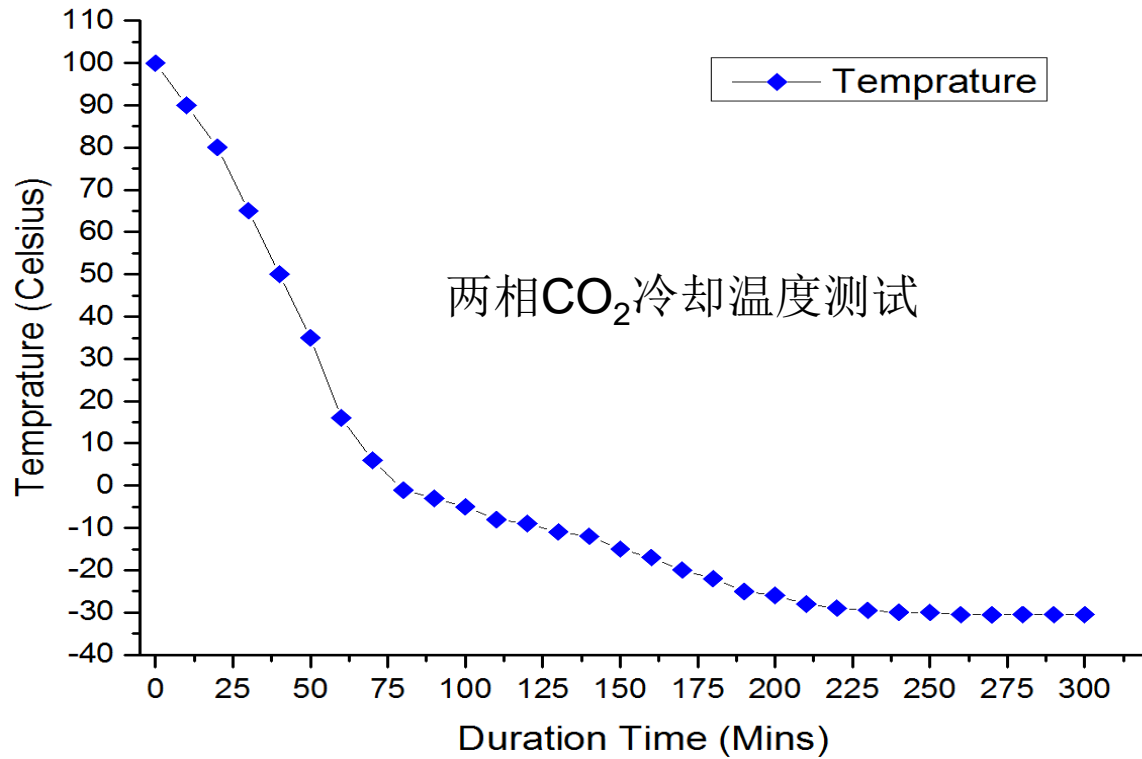
- ❖ 目标：为半导体探测器、气体探测器的研发 提供低温冷却，
- ❖ 特点是设计小型化，便于探测器系统在不同试验场所和环境要求的运行，
- ❖ 满载功率600W，正常运行~200W；设计冷却效率为 50-90 W/cm<sup>2</sup>，可冷却至 -30°C。
- ❖ 经费需求：已完成功能验证（~15万），正在集成小型化样机（~30万）。



改进设计版本示意图



# 两相CO<sub>2</sub>系统功能预研及测试结果



**预研结果/2021年12月:**  
功能验证已完成  
功能性测试结果已达研制目标

- 工作流程：二氧化碳储罐→单向节流阀→压力表→储液罐→截止阀→置换热量器→压力表→冷却箱→温度监测→截止阀→压缩机→冷凝器→温度测量→截止阀→回流储液罐





- ❖ 感谢所长科学家工作室和卓越中心对半导体探测器研发的大力支持。
- ❖ 本课题的经费协助引进半导体探测器的人才，充实了研究队伍；实验室迅速发展，已初步具备适用于研发不同阶段的生产、测试的实验空间和仪器装备；团队整体科研实力得以提升。
- ❖ 本课题的研究经费在探测器技术研发的多个方面发挥了非常重要的作用，包括 HV-CMOS 像素探测器、两相 CO<sub>2</sub> 冷区系统、抗辐照探测器技术等；在其它一些研究中也提供救急准备。
- ❖ 总经费 400 万元，已花费 ~340 万元，划给两位引进人才的半导体探测器经费有约 1/3 的结余；一个重要因素是一些计划中的采购和流片被迫推迟。
- ❖ 希望 MOST3 经费能够在 2023 年底可以投入半导体探测器的研发。
- ❖ 对于未列入的小项目，维持一个基本的经费支持，是持续发展的重要保障。