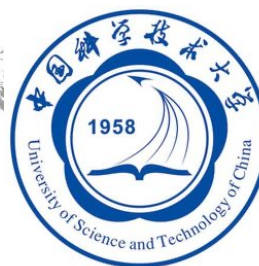


ATLAS 实验内径迹探测器升级 实施方案汇报

史欣

中国科学院高能物理研究所

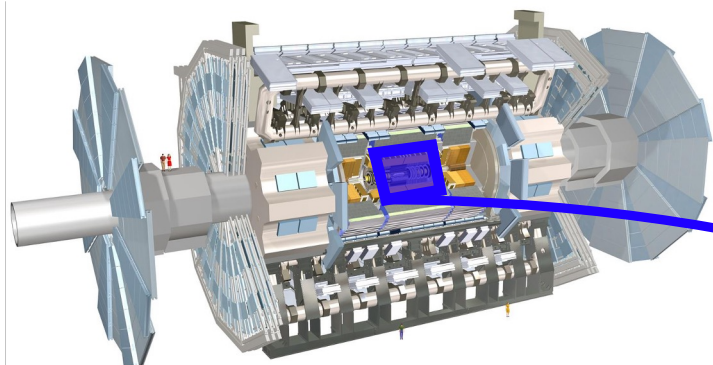


国家重点研发计划“ATLAS 探测器升级”项目启动会议
2024年7月5日

报告提纲

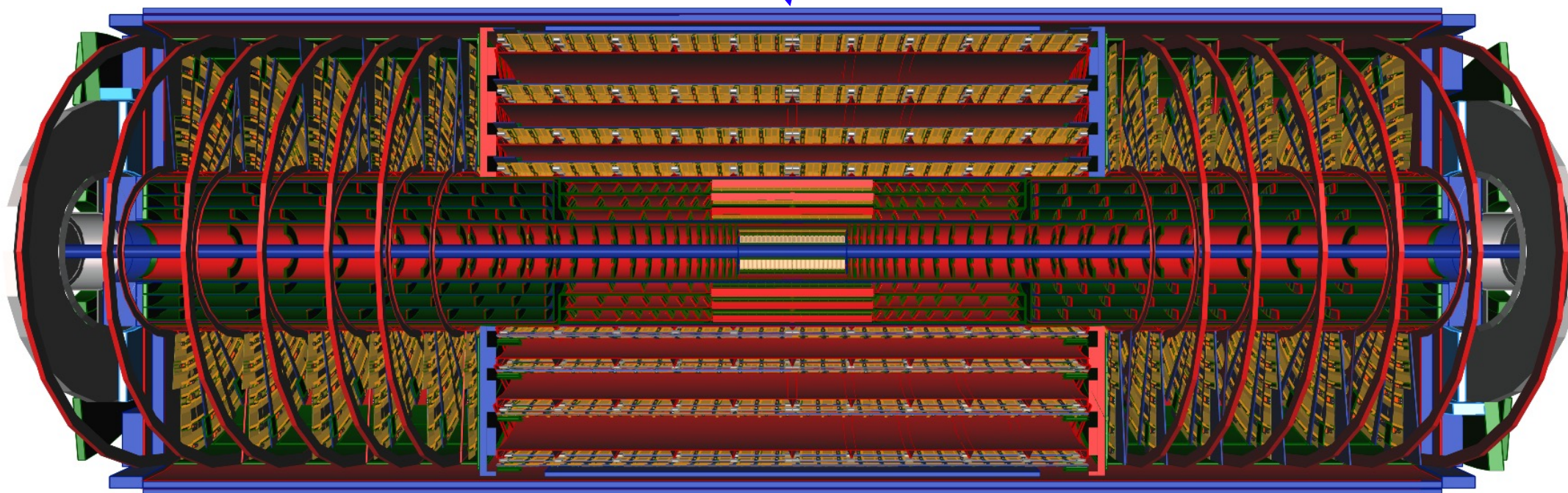
- 课题任务和目标
- 关键难点和瓶颈
- 项目实施方案
 - 进度安排和年度计划
 - 参与单位人员与分工
 - 组织管理与保障措施
 - 风险分析与应对措施

课题 2 : ATLAS内径迹探测器升级

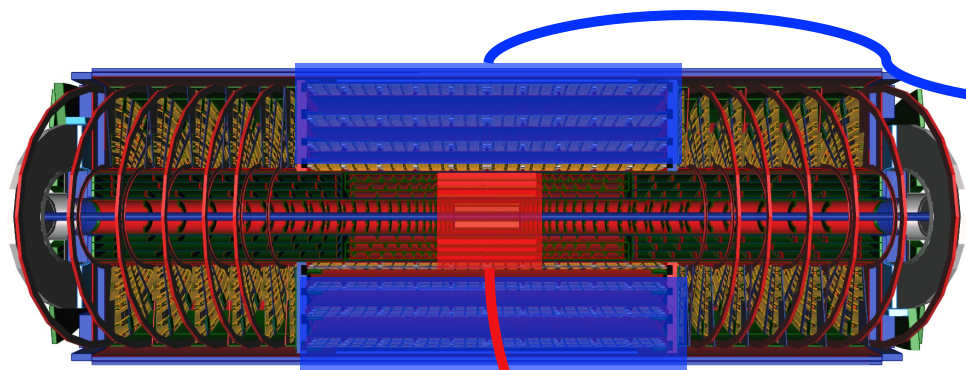


Inner Tracking Detector (ITk)

- All silicon with at least 9 layers up to $|\eta| = 4$
- Less material, finer segmentation

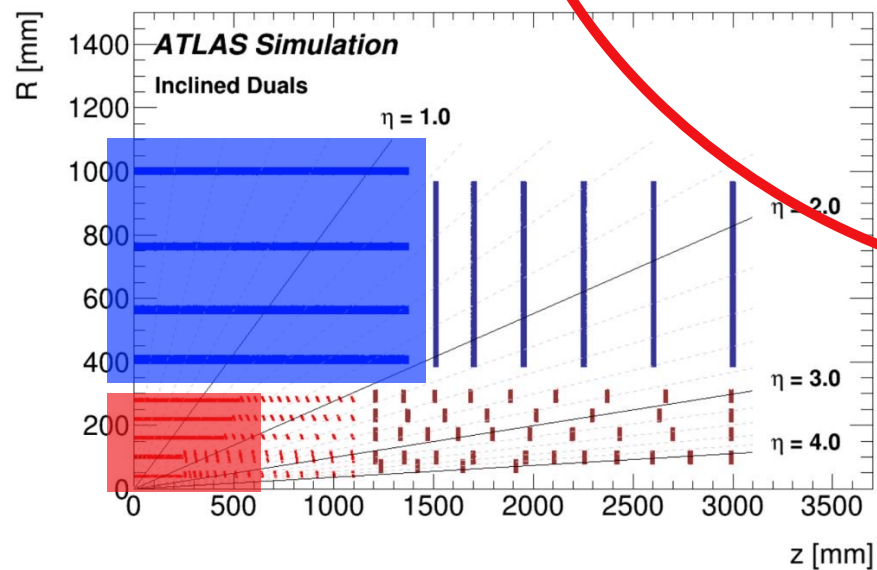


内径迹探测器升级：课题任务



2.1 硅微条探测器研制

- 抗辐照传感器和读出芯片研究
- 硅微条探测器模块研制
- 硅径迹探测器系统整合

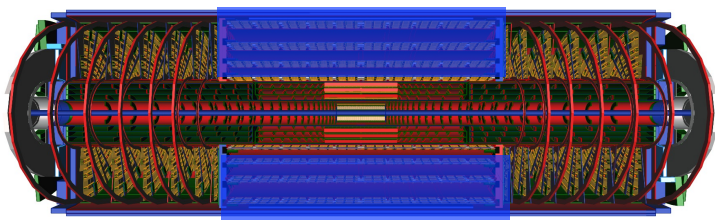


2.2 时间像素探测器研发

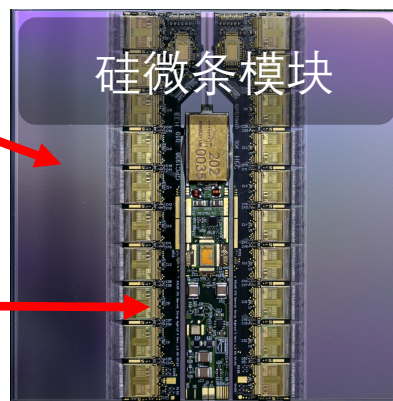
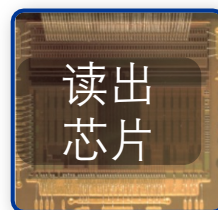
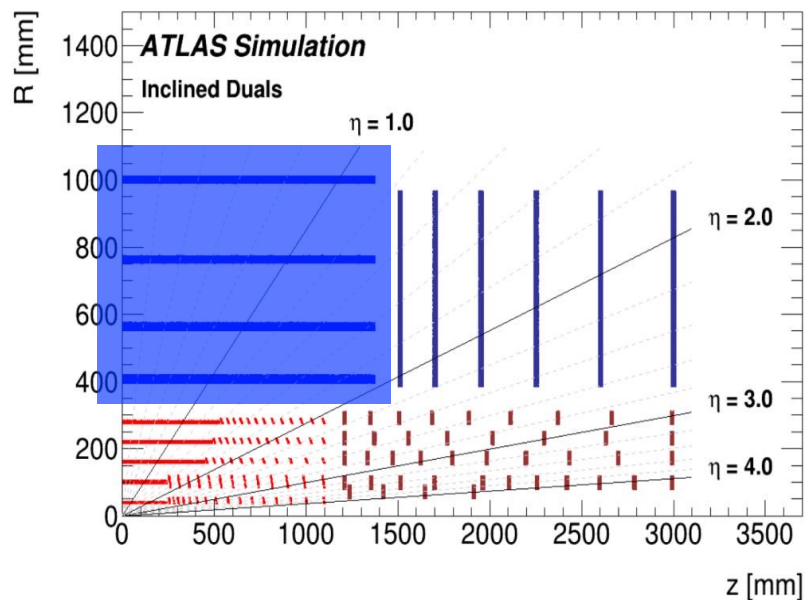
- 像素时间传感器研发
- 快时间前端读出电子学研发

任务 1 - 硅微条径迹探测器研制

硅微条探测器研制 – 研究内容



1. 研究硅微条传感器辐照后的电荷收集效率、专用集成电路芯片辐照后的单粒子效应
2. 掌握硅微条传感器的高精度组装技术，开展硅探测器模块高低温测试及空间位置分辨率的研究
3. 开展硅微条探测器模块集成到桶板、桶板组合成径迹探测器系统的安装和联调

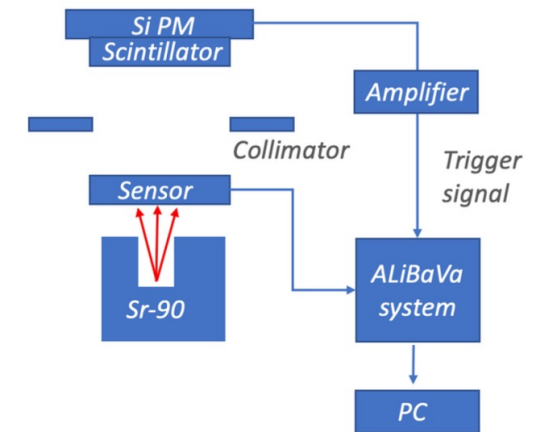
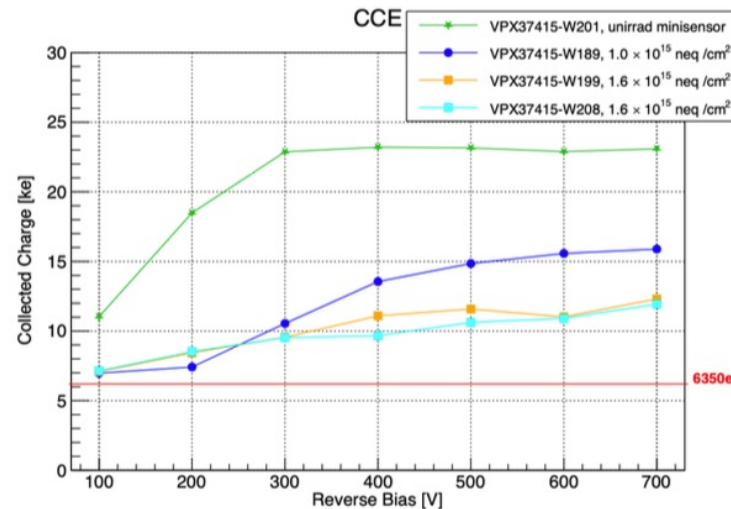
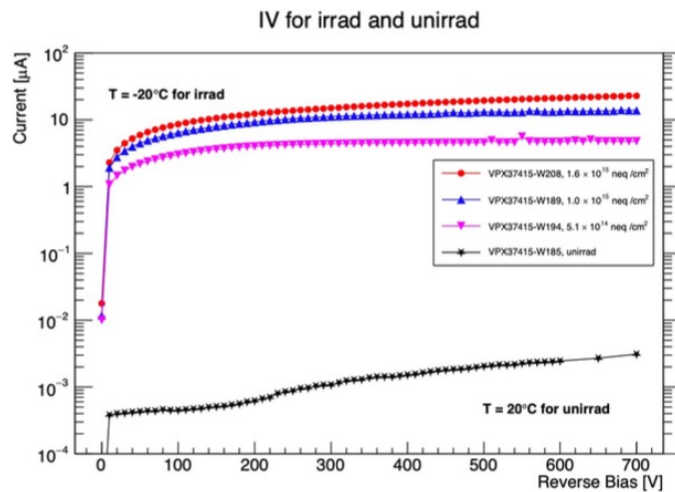
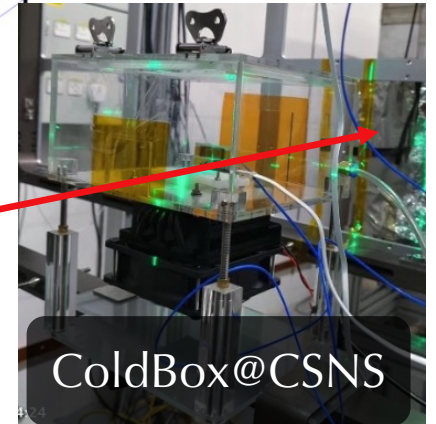
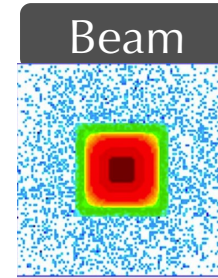
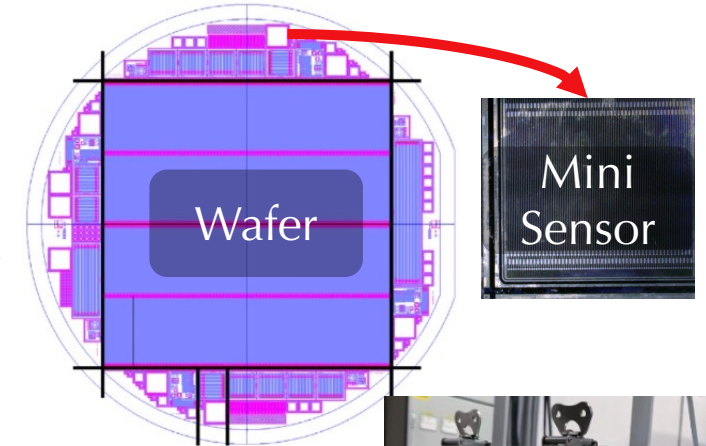


任务 1: 拟解决的关键技术问题

- 硅微条探测器模块建造
 - 验证硅微条传感器和读出电子学的抗辐照等关键指标
 - 掌握硅微条探测器模块高精度组装、高低温环境可靠性测试等关键技术
 - 保障探测器模块空间分辨率达到 25 微米的要求
- 径迹探测器系统集成
 - 硅微条探测器模块集成到桶板
 - 桶板组合成径迹探测器系统的安装、调试等关键技术研究

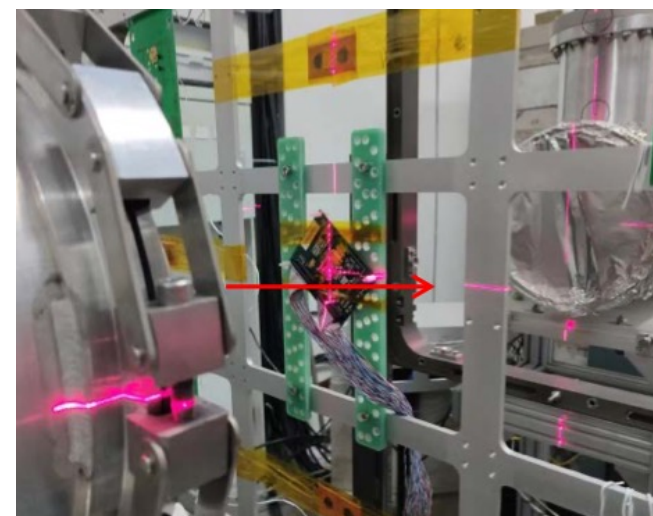
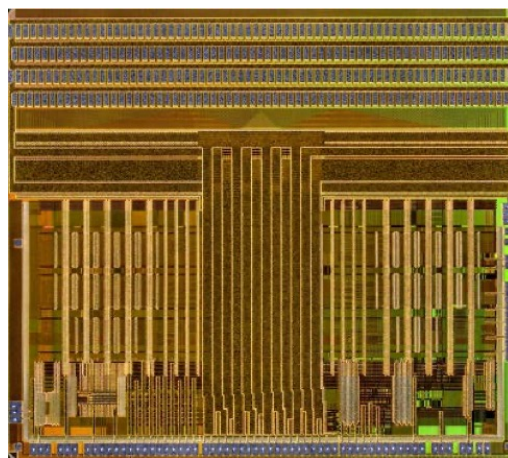
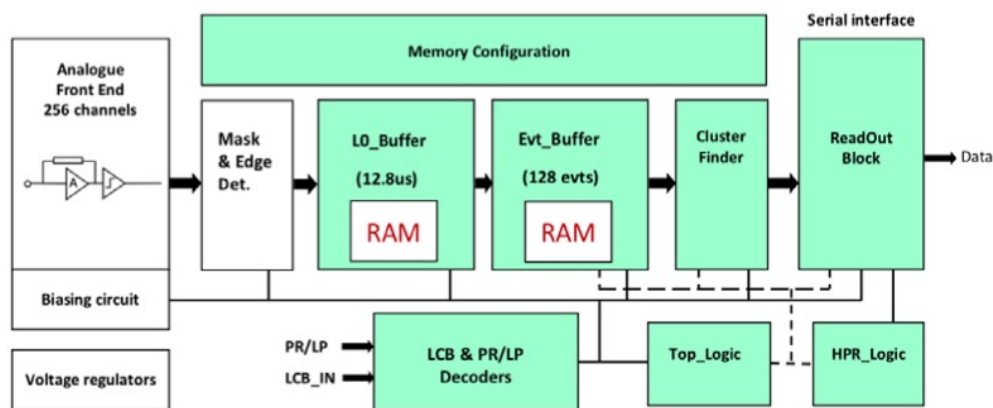
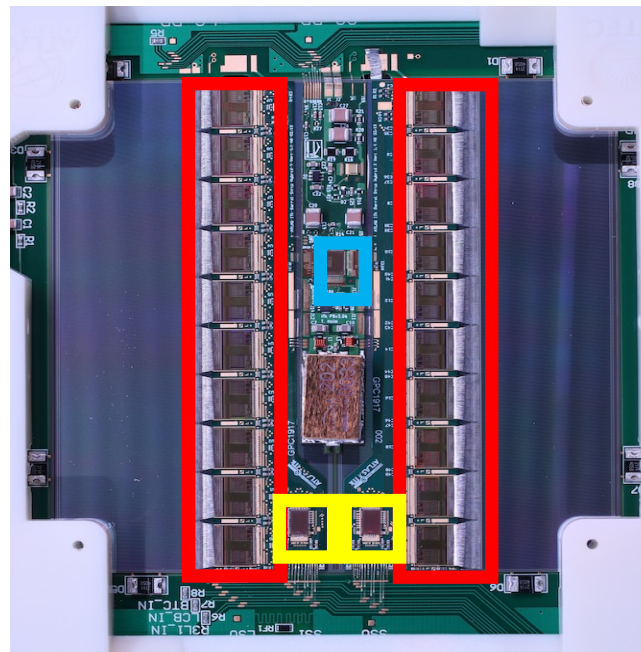
硅微条传感器抗辐照研究

- Carried proton irradiation of strip mini-sensor at CSNS for quality assurance (QA) site
 - 80 MeV proton fluence up to $1.6 \times 10^{15} \text{ n}_{\text{eq}}/\text{cm}^2$
 - Developed temperature and humidity control chamber
- Sensor characterization at IHEP
 - I-V, C-V, to check if any early breakdown
 - CCE (Charge Collection Efficiency)



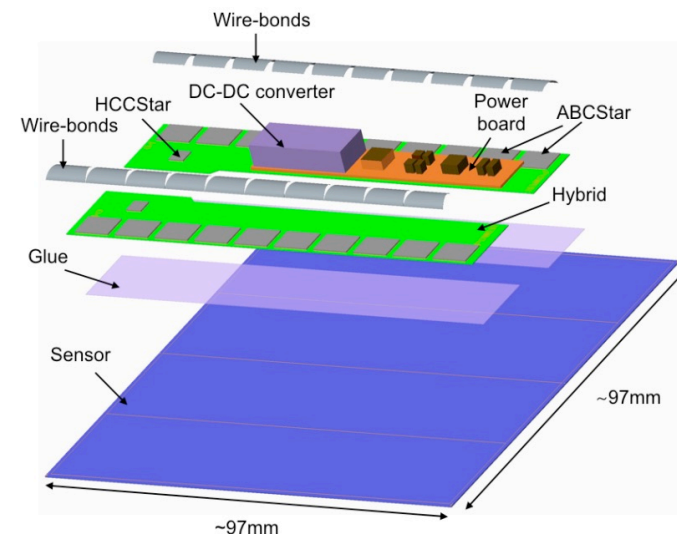
读出芯片抗辐照研究

- Three types of ASIC on strip module
 - **ABCStar** : Strips readout front-end chip)
 - **HCCStar** : Interface between hybrid and stave
 - **AMACStar**: Monitor and control voltage, current, temp
- Contributed to design and verification of ABCStar
- ASICs TID studied with X-ray machine at IHEP
- Carry SEE test for ASICs at CSNS

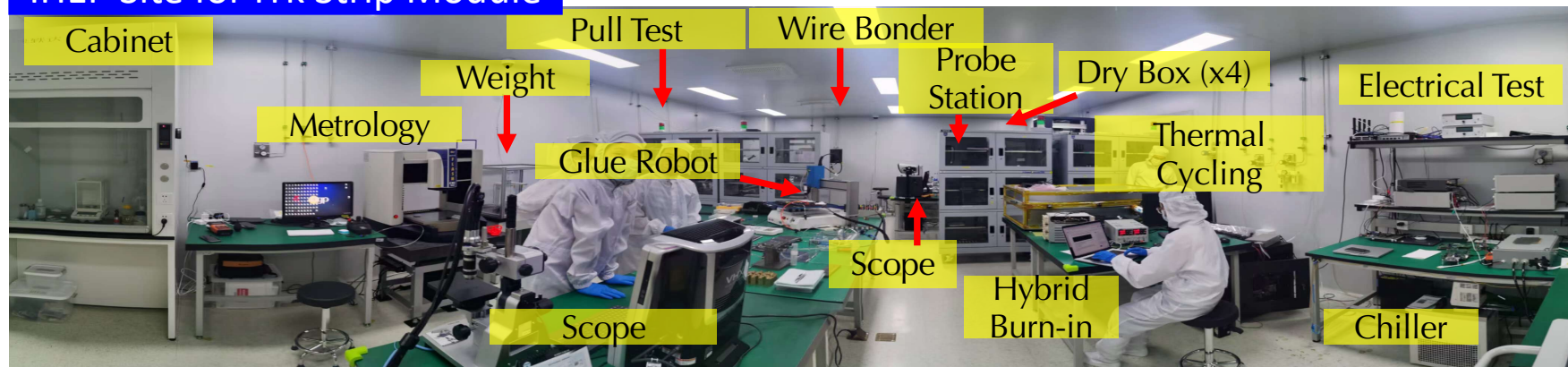


硅微条探测器模块组装

- China plan to deliver 10% strip barrel modules
 - For this project 200 modules
- Assemble detector modules precisely metrology and glue robot machines
- Thermal cycle modules 10x from -35°C to $+40^{\circ}\text{C}$
 - Mimic the experimental situation at ATLAS

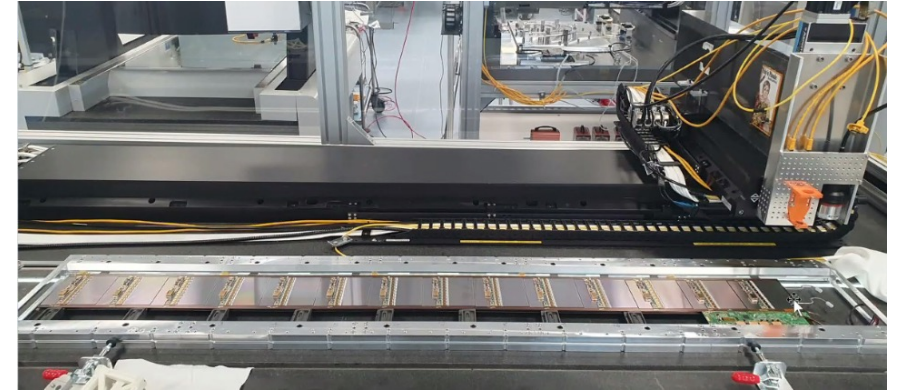


IHEP Site for ITk Strip Module



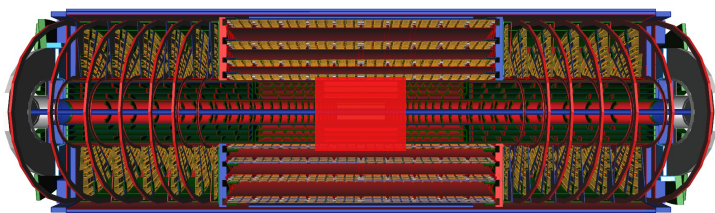
桶部径迹探测器系统整合

- Strip barrel stave loading
 - Mount 28 modules (14 each side) on the stave
 - Modules on each side rotated by ± 26 mrad
 - Thermal cycle the stave after loading
- Barrel tracker system integration
 - Tracker with four concentric carbon cylinders
 - Four barrel layers consists 392 staves
 - Perform power, cooling, data acquisition, system test



任务 2 - 时间像素探测器研发

时间像素探测器 – 研究目标与内容

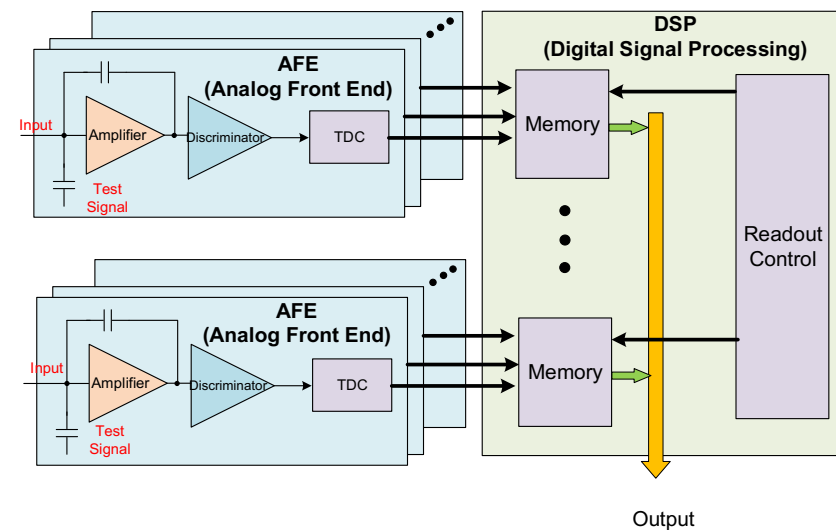
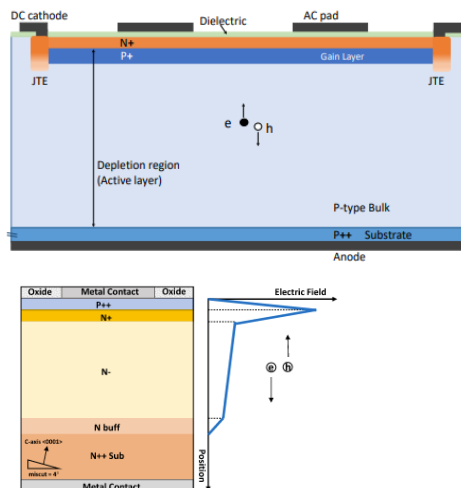
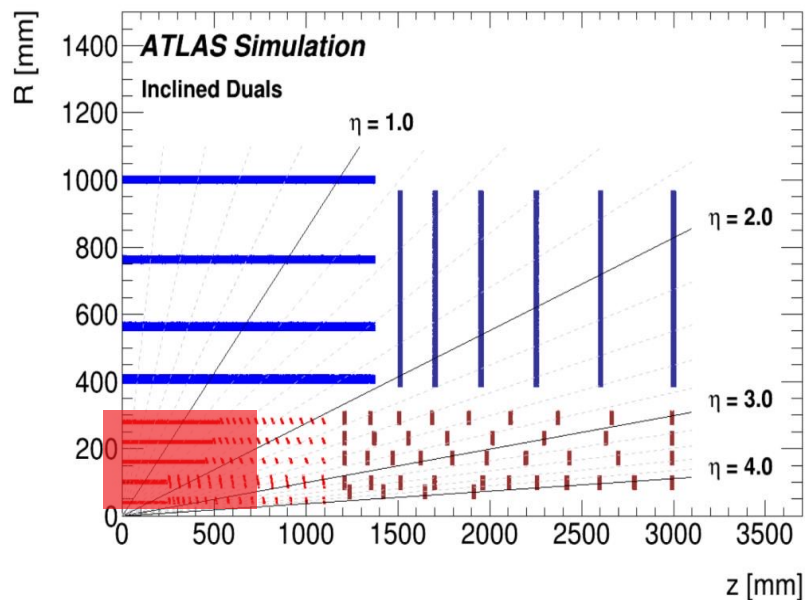


研究目标

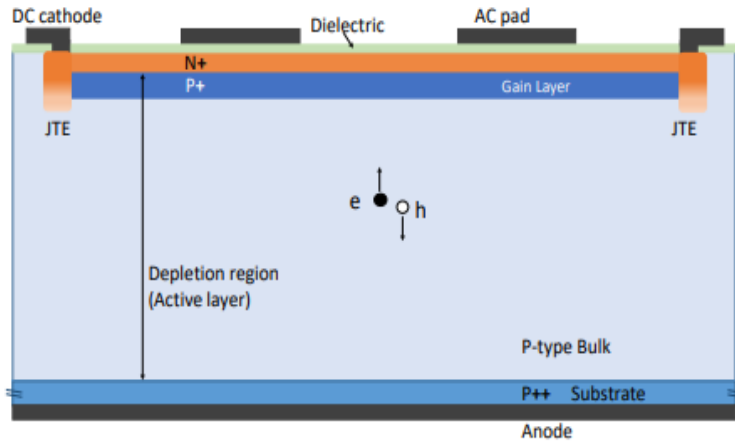
- 研发时间分辨率在 100 皮秒以下的抗辐照传感器及前端电子学

研究内容

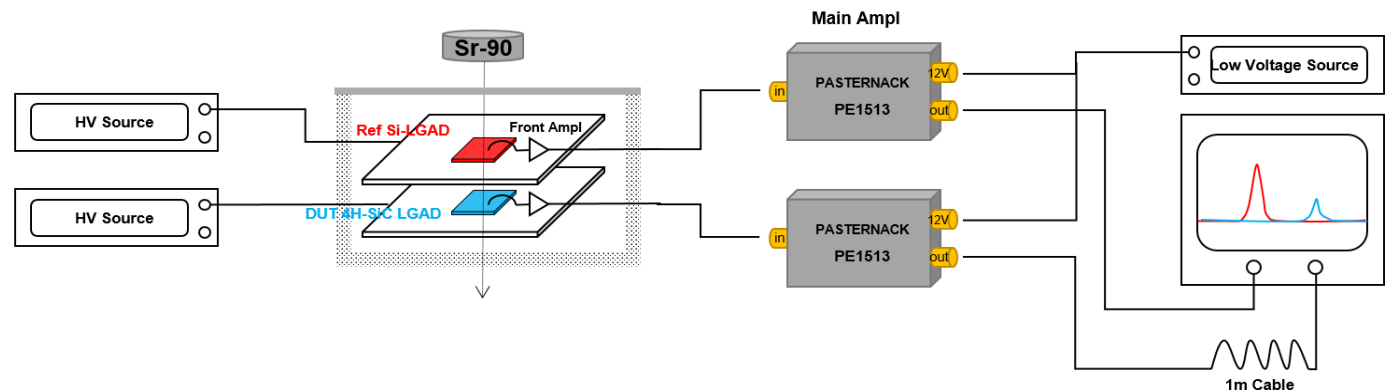
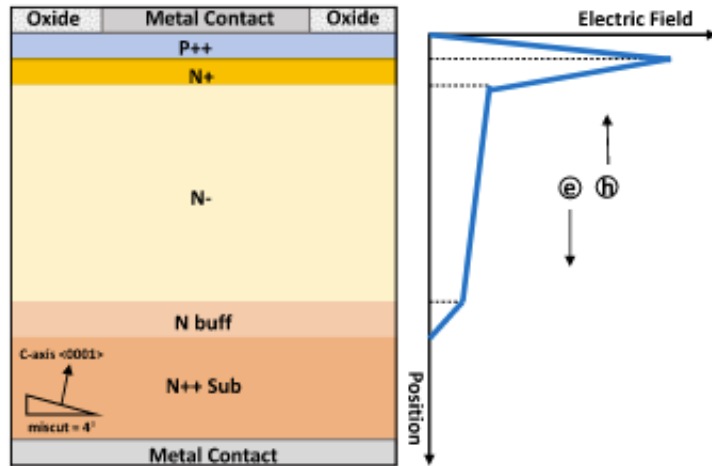
- 研发像素型 LGAD 传感器，实现 100 皮秒以下的时间分辨率
- 研发具有时间测量功能的像素探测器前端读出电路关键技术



时间像素传感器研发



- Pixelated LGAD sensor will be designed and fabricated
- TCAD simulation and design
 - sensors geometry structure, substrate properties, process parameters
 - Sensor Layout and fabrication
- Mask design and controllable fabrication process
- Electrical system for timing information, Beta source testing
- Timing resolution before and after irradiation be less than 100ps



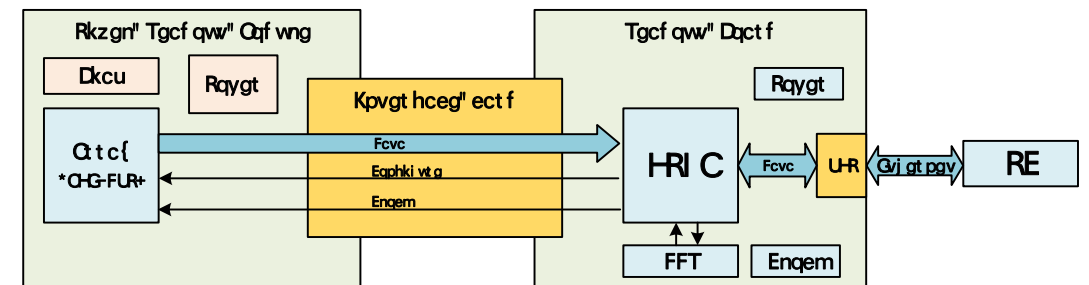
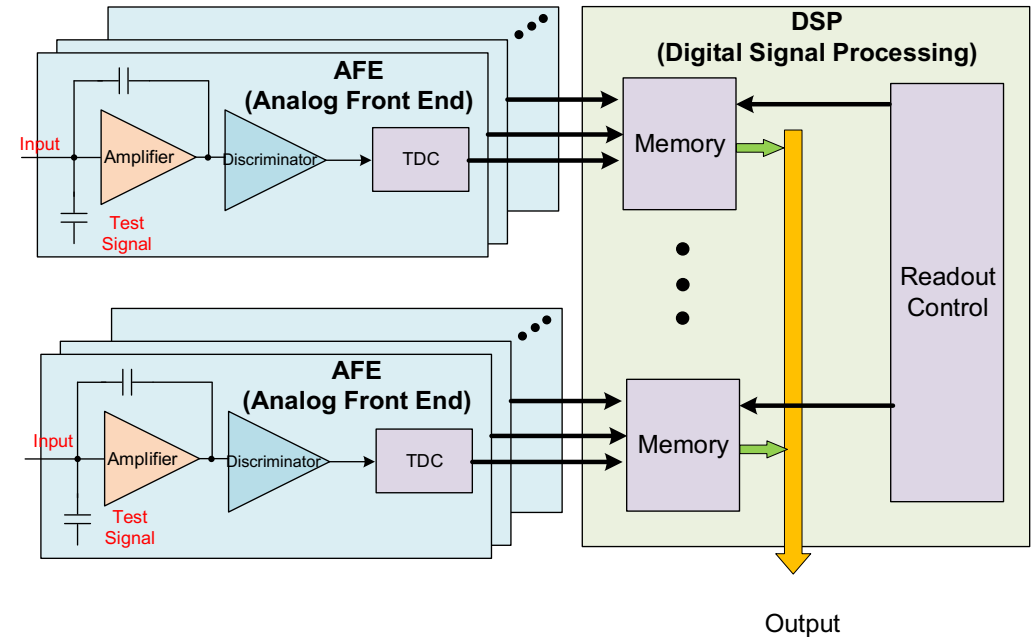
时间像素读出电子学研发

- Timing Pixel Readout Module design

- Analog front end design: Amplification and discrimination combined with high-precision TDC to extract time information (By international cooperation)
- Strategy and architecture design for TDC data buffering and fast readout

- Readout system prototype design

- Pixel Readout Module provides power supply and bias for the AFE array and DSP
- Readout Board is responsible for the data collection, data transmission, and configuration
- Interface card connects the Pixel Readout Module and Readout Board



进度安排：2024 年度

- 2023 年 12 月- 2024 年 5 月
 - 任务：测试硅微条传感器关键性能，掌握模块生产全部流程。开展时间像素探测器文献调研，分析明确设计需求。
 - 考核指标：通过硅微条模块站点考核。确定时间像素探测器技术路线。
 - 成果形式：硅微条探测器国际合作组内部评审报告，时间像素探测器内部报告。
- 2024 年 6 月- 2024 年 11 月
 - 任务：测试读出芯片关键性能，开始制备长硅微条模块，在卢瑟福实验室完成多桶板小系统联调测试，在 CERN 搭建桶板接收测试系统。完成时间像素探测器传感器与前端电子学整体架构设计和功能模块划分。
 - 考核指标：研制出合格的长硅微条探测器模块，完成时间像素探测器技术设计报告。
 - 成果形式：长硅微条探测器模块合作组内测试报告，时间像素探测器技术设计报告。

进度安排：2025 年度

- 2024 年 12 月- 2025 年 5 月

- 任务：测试传感器、芯片在不同辐照条件下的性能表现，制备长硅微条模块。时间像素探测器完成传感器增益层设计与第一版原型验证电路功能层级设计
- 考核指标：完善长硅微条探测器模块研制流程，完成时间像素传感器增益层与验证电路功能层设计验证
- 成果形式：长硅微条探测器完整流程优化合作组内报告，时间像素探测器初步设计验证报告

- 2025 年 6 月- 2025 年 11 月

- 任务：参与硅微条传感器批量生产阶段可靠性测试，持续生产长硅微条模块，接收、测试运往 CERN 的首批桶板。研制时间像素传感器光刻板、设计原型验证电路寄存器转换级功能。
- 考核指标：批量生产合格长硅微条探测器模块，完成时间像素第一版传感器与电子学原型验证电路设计。
- 成果形式：长硅微条探测器批量生产合作组报告，时间像素探测器第一版设计报告。

进度安排：2026 年度

• 2025 年 12 月- 2026 年 5 月

- 任务: 制作长硅微条模块，加载中国组生产的硅探测器模块到英国卢瑟福实验室桶板。进行时间像素传感器第一版流片，编写原型验证电路性能仿真主体程序。
- 考核指标: 长硅微条模块空间分辨率达到 25 微米，时间像素传感器第一版流片返回，原型验证电路性能仿真主体程序稳定运行。
- 成果形式: 长硅微条探测器空间分辨测试报告，时间像素传感器第一版流片初步接收报告，验证电路性能仿真程序运行报告。

• 2026 年 6 月- 2026 年 11 月

- 任务: 开始制作短微条模块，在英国卢瑟福完成测试后运往 CERN 安装点。通过接收测试后，加载桶板集成到桶部探测器。时间像素: 测试第一版传感器，仿真验证第一版原型验证电路性能。
- 考核指标: 研制出合格的短硅微条探测器模块，时间像素探测器时间分辨好于 1ns。
- 成果形式: 短硅微条探测器完整流程优化合作组内报告，时间像素探测器传感器与原型验证电路性能仿真验证报告。

进度安排： 2027 年度

- 2026 年 12 月- 2027 年 5 月

- 任务: 制作短硅微条模块，封闭桶部探测器。评估时间像素传感器第一版性能，测试电子学第一版原型电路性能。

考核指标: 完善短硅微条探测器模块研制流程，时间像素探测器第一版时间分辨好于1ns

- 成果形式: 短硅微条探测器完整流程优化合作组内报告，时间像素探测器第一版性能测试报告。

- 2027年 6 月- 2027 年 11 月

- 任务: 制作短硅微条模块，参与 CERN 的径迹探测器联调测试。时间像素探测器第二版传感器设计与电路设计与仿真。

考核指标: 短硅微条模块空间分辨率达到 25 微米

- 成果形式: 短硅微条模块空间分辨测试报告，时间像素探测器第二版设计报告。

进度安排： 2028 年度

- 2027 年 12 月- 2028 年 5 月

- 任务: 联调测试径迹探测器，参与系统早期运行。测试时间像素传感器与电子学性能。
- 考核指标: 径迹探测器联调达到 ATLAS 实验要求，时间像素探测器时达到测试要求。
- 成果形式: 径迹探测器空间分辨测试报告，时间像素探测器时间分辨测试报告。

- 2028年 6 月- 2028 年 11 月

- 任务: 撰写技术设计文档，总结经验。
- 考核指标: 径迹探测器空间分辨率达到 25 微米，时间像素探测器时间分辨率达到 100ps
- 成果形式: 课题结题报告。

参与单位和人员以及分工

- 牵头单位：中国科学院高能物理研究所，课题负责人：史欣
- 参与单位：清华大学（陈宜保）、中国科学技术大学（曹喆）
- 参与人员：16 人
 - 高能所：9 人，其中副高 3 人、中级 1 人、其他 5 人
 - 清华：4 人，其中副高 1 人、其他 3 人
 - 中科大：3 人，其中副高 1 人、其他 2 人
- 分工
 - 高能所：负责建设硅微条模块研制实验室平台、传感器和读出芯片测试平台、东莞散列中子源伴生质子束流辐照平台搭建，协调与英国卢瑟福实验室以及 CERN 的安装调试工作。负责新一代有时间信息的像素探测器传感器研究
 - 清华大学：负责派送博士后和学生参加硅微条探测模块研制、传感器和读出芯片辐照测试，以及协助参加英国和 CERN 的工作
 - 中科大：负责新一代有时间信息的硅像素探测器的前端电子学研究

组织管理与保障措施

- 本课题实行课题负责人全面负责制
- 课题负责人组织和协调课题各项研究工作的开展和实施。
- 课题每两周召开课题组例会，讨论和解决具体技术问题；每年召开二次课题组研讨会，针对课题实施过程中存在的重要问题进行专题讨论；每年召开一次年终总结会，检查课题进度，安排一下年度的具体工作。
- 课题将严格执行国家和科技部对“国家重点研究计划”的政策要求，课题各参加单位、教育部重点实验室将在研究人员、支撑人员和研究生等人力资源、实验室场地和相关条件上给予支持，以保障项目顺利实施，达到目标。

风险分析与应对措施

- Delay of LHC Project
 - Type: policy
 - Risk Level: middle
 - Mitigation plan: keep communication with CERN and ATLAS, reduce the uncertainty of LHC to this project
- ASICs for ITk not able to import to China
 - Type: policy
 - Risk level: middle
 - Mitigation plan: send people to RAL in UK to complete the module assembly task
- Timing pixel front end electronics not able to import to China
 - Type: policy
 - Risk level: middle
 - Mitigation plan: send people to US or CERN to continue the study. Investigate technology based on China

总结

- ATLAS 实验内径迹探测器升级包含两个子任务
 - 硅微条探测器研制
 - 时间像素探测器研发
- 课题组将按照时间进度安排组织管理，确保任务高质量完成

感谢各位专家莅临指导!

