

2024年度工作报告

报告人：张杰

电子学组

2024-11-22

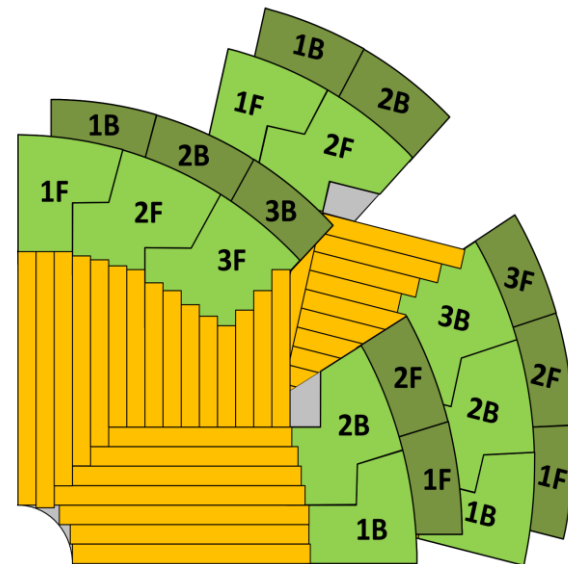
岗位工作内容

■ 工程项目

- 负责ATLAS Phase II升级-高颗粒度高时间分辨探测器 (HGTD) 电子学系统 (30%)
- 参与TAO后端电子学研制 (40%)
- 参与HEPS和上海自由电子激光 硅像素阵列探测器研制 (30%)

HGTD L2电子学召集人

- 与南京大学张雷一起主导外围电路电子学
 - 2024年5月6日通过ATLAS PHASE II UpGrade (P2UG)年度评审
 - 正在对Final Design Review(FDR)进行准备
- 外围电路电子学：共6种类型，合计160块电路板，基本功能：
- 对8032个前端模块进行同步、控制并监测状态
 - **挑战1**：用于连接模块的面积有限
 - TOA/TOT数据、束流亮度数据上传
 - **挑战2**：总数据量高达10 Tbps，平均每个电路板约62.72Gbps
 - LV & HV分配
 - **挑战3**：低噪声，散热，系统级屏蔽与接地考虑
 - 为Interlock系统提供温度监测点



外围电路电子学分布
(四分之一象限)

其他需求：

- 抗辐照 (**挑战4**)
- 区域和高度限制 (**挑战5**)
 - 连接器、芯片和电源模块的表面积受限
 - 总高度小于10 mm，需要低高度的空心电感和连接器
- 磁场环境：0.382 T ~ 0.433 T，夹角：23.1° ~ 32.3°
- 工作温度：（带有前端模块和CO₂冷却）：-35 °C ± 5 °C

| | From simulation | Safety factor | Design requirement |
|-----------------------------|--|---------------|--|
| Si 1 MeV neutron equivalent | < 1.4 x 10 ¹⁵ neq /cm ² | 1.5 x 1.3 | 2.73 x 10 ¹⁵ neq /cm ² |
| Fluence of hadrons > 20 MeV | < 0.32 x 10 ¹⁵ neq /cm ² | 1.5 x 1.3 x 2 | 1.25 x 10 ¹⁵ neq /cm ² |
| TID | < 36 Mrad (0.36 MGy) | 1.5 | 54 Mrad (0.54 MGy) |

PEB抗辐照需求

HGTD - 电子学研制与生产

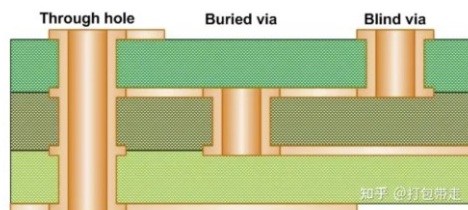
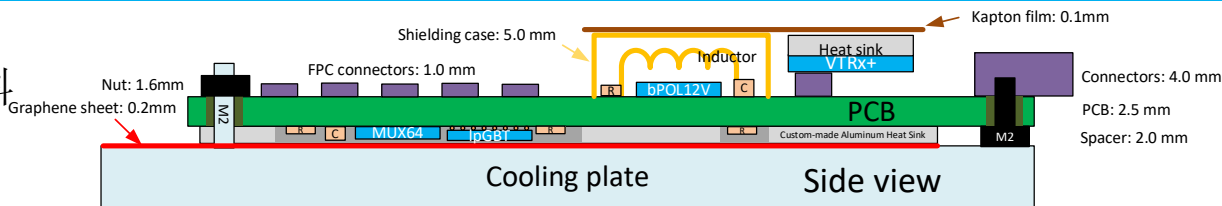
复杂PCB

- 无卤素、高速、低损耗多层材料
 - 阻抗控制
- 符号和网络
 - 3386个元件，12996个连接
- **22层PCB**，包括：
 - 8层信号层
 - 2层高压和高压回地层
 - 4层地层
 - 8层电源层
- HDI（高密度互连），微通孔
- VIPPO / POFV：电镀过孔填平

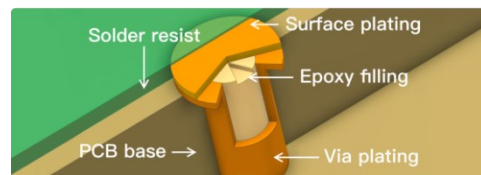
P2UG评审意见

HGTD: PEB and demonstrator comments

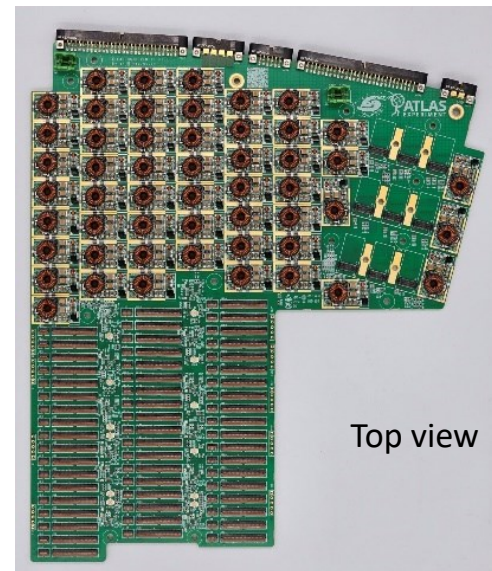
- The Peripheral Electronic Board was expected to be challenging and has proven to be so.
- It is comparable with the most difficult boards manufactured for HEP projects and has some extra features, such as irregular size and small numbers of several types to be manufactured. It relies heavily on successfully working with medium to large companies with many other commitments.
- It is vital for the full demonstrator.
- It is expected to become the most critical path item soon and there appears to be limited scope for accelerating progress.



HDI（高密度互连）

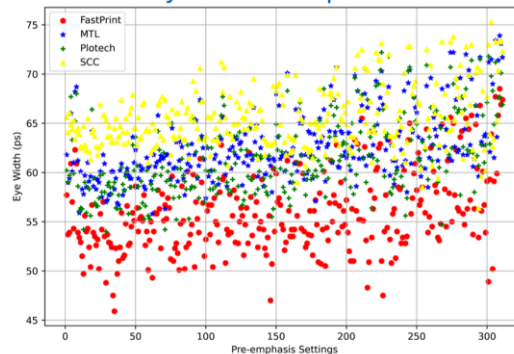


电镀过孔填平



Top view

Eye width comparison

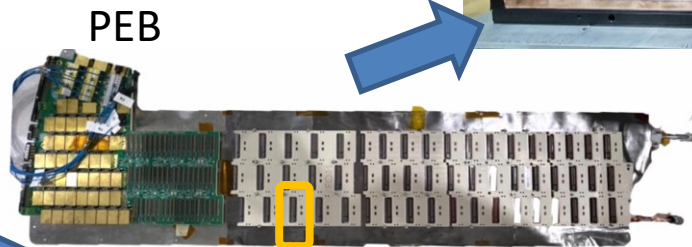
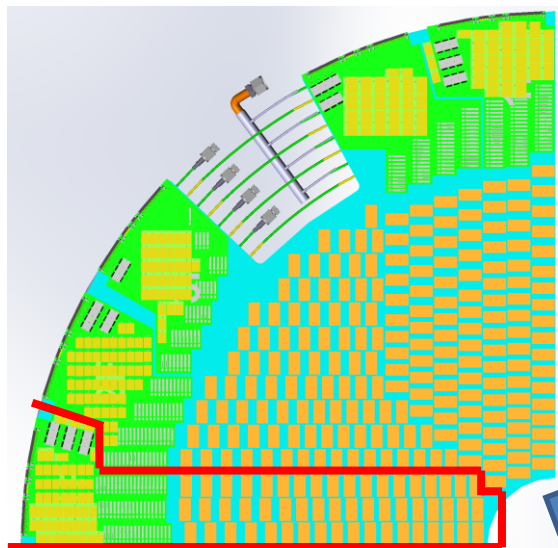


涉及**高端PCB生产加工**，4家PCB厂完成原型生产，我们通过详细的性能评估选取其中**1家**作为预生产厂家。

HGTD - 模块电子学

模块电子学L3召集人

- 参与高能组，与Omega, CNRS/IN2P3, IFAE, MAINZ, IJClab, MAScIR 等机构合作
- 2024年5月6日通过ATLAS PHASE II UpGrade (P2UG)年度评审
- 2024年10月31日通过Preliminary Design Review (FDR)
- 正在开展前端模块PCB的预生产



54个前端模块

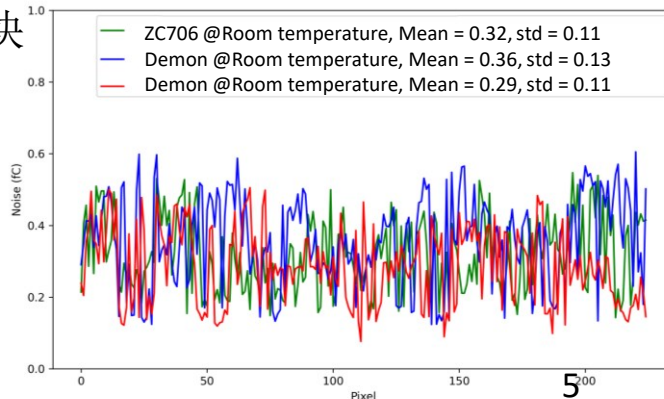


HGTD 模块照片

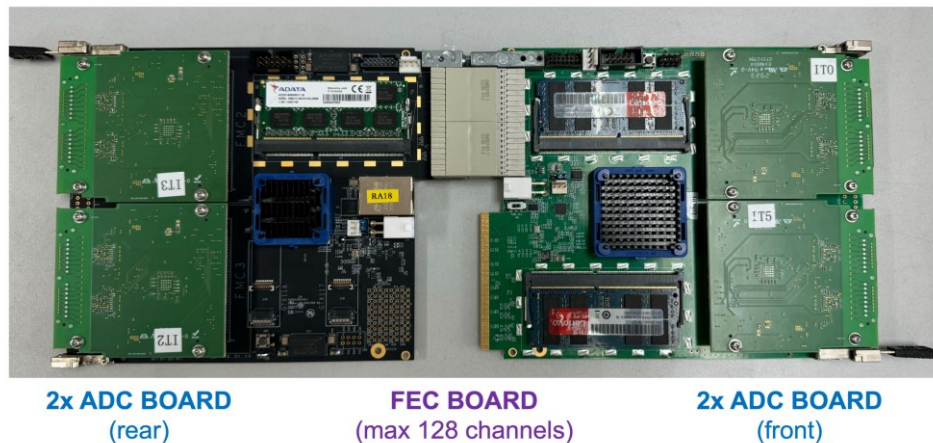
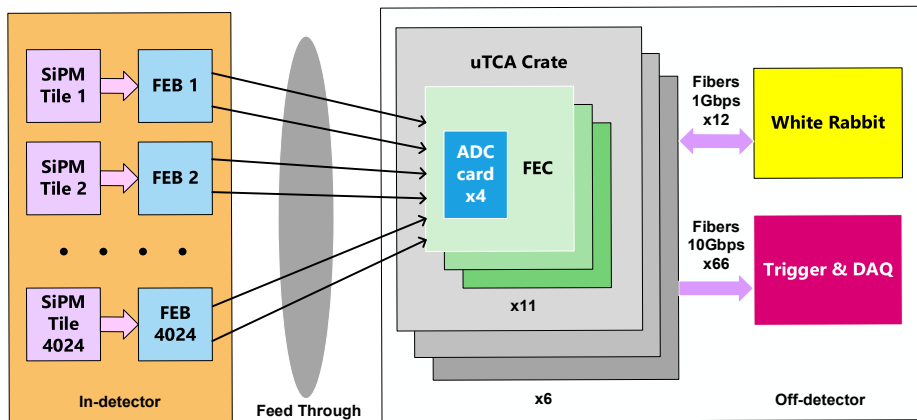


HGTD 演示系统@CERN
(CO₂制冷)

- 完成系统电子学的噪声测试，与单模块测试系统的噪声水平相当



台中微子实验-读出电子学后端系统研制与生产

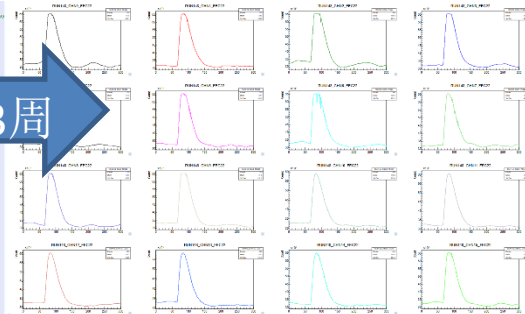
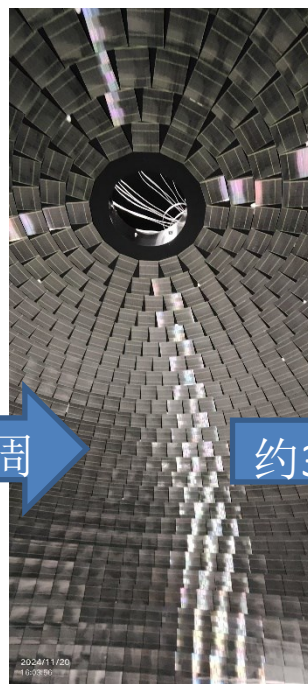
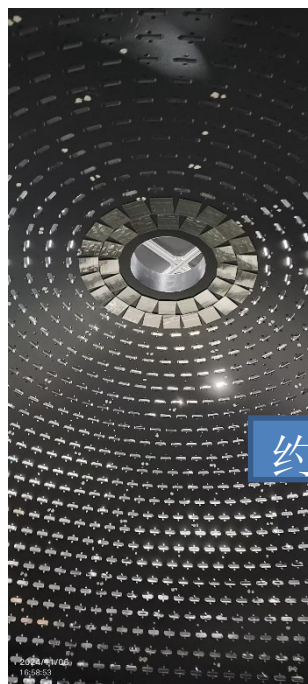


后端读出电路

- 基于MicroTCA机箱的FPGA读出板
 - 6个机箱 (66套读出板, 每个读出板支持128个AD通道)
 - 保留对ASIC方案的升级兼容
 - 配合Roma TRE进行ADC子板测试
 - 2024年11月7日通过PRR, 正在进行批量生产

参与台山现场探测器与电子学安装

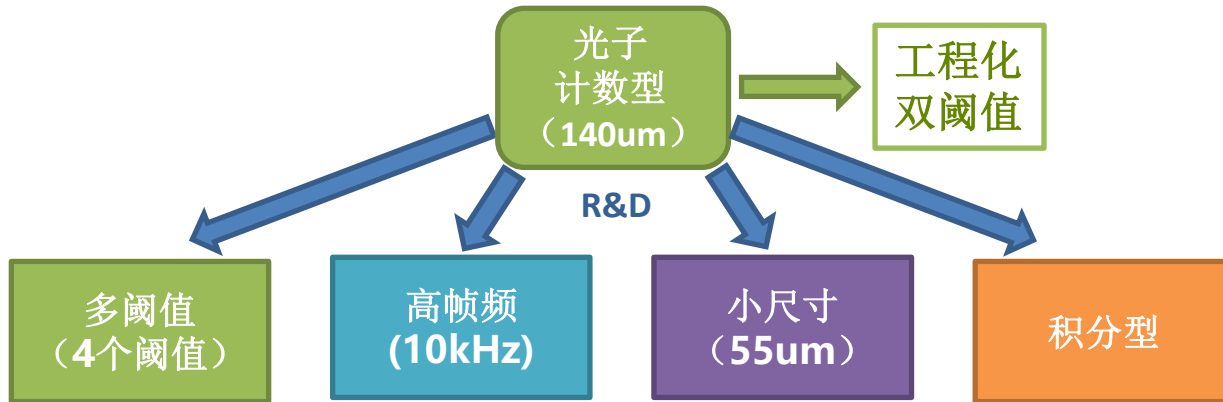
- 4024个SiPM tile和FEB前放板
- 现场探测器与前端电子学的避光QC测试
- 确保没有一个死道, 安装与测试日志: <https://jupyter.ihep.ac.cn/s/clROkPD9x>



约2周 约3周

与杨冯帆一起避光测试 6

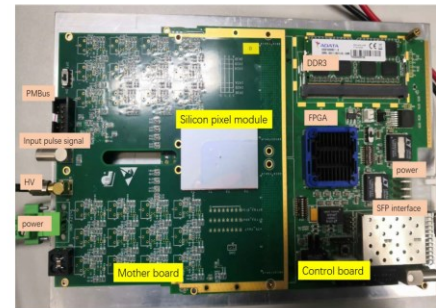
HEPS和上海自由电子激光 硅像素阵列探测器研制



通用的模组连接定义

■ 多种芯片，多个项目对读出系统的不同需求，如何兼顾多种芯片测试与系统集成？

- 与ASIC设计者共同制定具有普适性的芯片引脚规则
- 分析各种模块的需求，设计**通用的芯片/模组测试系统**
 - 电压可调整的多通道供电系统
 - 可配置的通信读出电路
 - 复用测试固件和软件
- 分析各种样机的需求，设计**通用的FPGA读出系统**
 - 多达216的通用IO
 - 多达32个高速串行接口
 - 支持1GbE、10GbE、25GbE、40GbE和100GbE的TCP接口连接DAQ
 - 规模可裁剪的时钟同步系统
 - <https://github.com/palzjh/u4FCPv2>



通用的芯片/模组测试系统

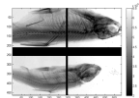


通用的整机控制读出系统

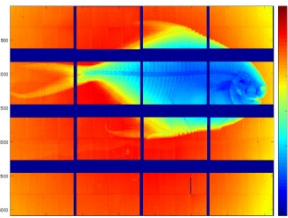
硅像素阵列探测器电子学系统研制

| | 1 st BPIX (2015-2016) | 2 nd BPIX (2017-2018) | 3 rd BPIX (2019-2021) | 4 th BPIX (2022-now) |
|---------------------|----------------------------------|--|--|--|
| Modules | 6 | 16 | 24 | 40 |
| Pixels | 360K | ~1M | 1.4M | 6M |
| Assembly Scheme | Wire bonding & Rigid-flex PCB | Wire bonding & Rigid-flex PCB | Through Silicon Via (TSV) & Rigid-flex PCB with low CTE (coefficient of thermal expansion) | Advanced wire bonding & HTCC (High Temperature Co-Fired Ceramic) |
| Dead Area Occupancy | 26.3% | 26.3% | 11.8% | 9.3% |
| FPGA Board | Spartan6 + SFP | Kintex7 + DDR3 + Molex Nano-Pitch I/O™ Cable | Kintex7 + DDR3 + Molex Nano-Pitch I/O™ Cable | UltraScale Kintex Plus + DDR4 + MicroTCA.4 |
| DAQ Interface | 1G Ethernet x12 | 1/10 G Ethernet x4 | 10G Ethernet x 4 | 100G Ethernet |
| Power | 100W | 370W | 500W | 1500W |

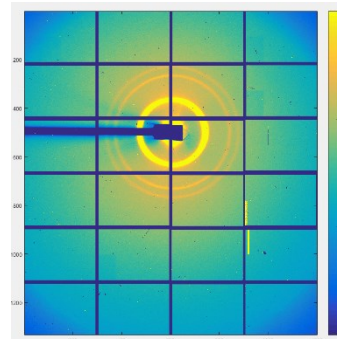
- 完成第四代样机的电子学系统的研制
- 年底将进行线站安装与联调



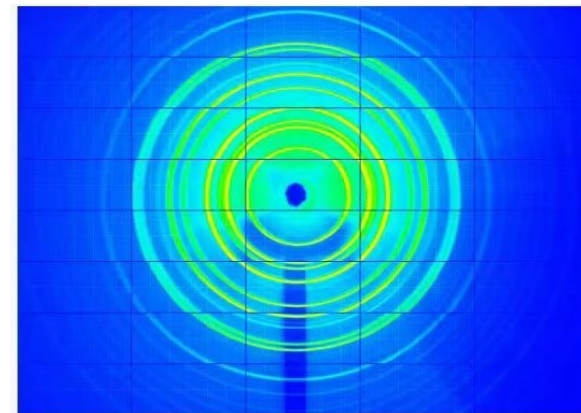
一代样机成像



二代样机成像



三代样机成像



四代样机模块成像 8

科研/工程项目、经费情况

- 主持1个
- 参与4个：其中1个即将结题，1个在研，两个新增

| 项目类型 | 项目名称 | 本人负责的部分 | 本人负责的经费 | 项目状态 | 项目申请人 | 本人角色 | 起止时间 |
|------------------|--------------------------------------|----------------------|---------|------|---------------------------------|------|-----------|
| 核探测与核电子学国家重点实验室 | 多色二维像素阵列探测器关键技术研究 | 负责人 | 20万 | 在研 | 张杰 | 负责人 | 2024 |
| 中科院重大科研仪器研制项目 | 面向自由电子激光的大阵列硅基探测器关键技术研究 | 电子学系统设计 | - | 即将结题 | 刘志魏微 | 核心骨干 | 2020-2024 |
| 基金委重大科研仪器项目 | 基于新型同步辐射与X射线自由电子激光光源的高帧频大阵列先进探测器系统研制 | 电子学系统设计 | - | 在研 | 刘志魏微 | 核心骨干 | 2022-2027 |
| 广东省基础与应用基础研究重大项目 | 基于同步光源和散裂中子源的劳厄衍射方法及应用 | 同步辐射二维像素阵列探测器电子学系统设计 | - | 在研 | 郝权 | 核心骨干 | 2024-2029 |
| 科技部国家重点研发(MOST3) | ATLAS实验升级 | 负责HGTD探测器内电子学设计与生产 | - | 在研 | Joao (项目负责人) 梁志均 (HGTD课题负责人) | 核心骨干 | 2024-2029 |

参与的学术交流、会议报告和论文情况

| 会议类型 | 会议名称 | 报告类型 |
|------|--|--|
| 国际 | 12th MicroTCA Workshop for Industry and Research DESY, Hamburg, 2023-12-07 | 口头报告, Application of MicroTCA in the Hybrid Pixel Detector for the High Energy Photon Source |
| 国际 | 2024 International Workshop on the High Energy Circular Electron Positron Collider, Hangzhou, Oct. 22 – 27, 2024 | 口头报告, Comparison of Electronic Systems for Precision Timing in ATLAS and CMS Experiments |
| 国际 | 2024 MicroTCA/ATCA for Large Scientific Facility Control International Workshop, Hefei, Sep.18-Sep.20,2024 | 口头报告, Applications of MicroTCA in Hybrid Pixel Detectors for HEPS and SHINE |
| 国际 | TWEPP 2024 Topical Workshop on Electronics for Particle, Glasgow, Scotland, Sep. 30 – Oct. 4, 2024 | 墙报, Design and implementation of the timing and synchronization system for JUNO-TAO detector |
| | | 墙报, The Prototype Design of PEB - a Component of the HGTD In-detector Electronics for the ATLAS Phase-II Upgrade |
| | | 学生墙报, Tests of the Prototype Peripheral Electronics Board for the High Granularity Timing Detector |
| 国内 | 10th China LHC Physics Conference (CLHCP2024), Qingdao, 2024-11-14 | 口头报告, The Prototype of the Peripheral Electronics Board for ATLAS HGTD |
| 国内 | 第三届地下和空间粒子物理与宇宙物理前沿问题研讨会, 西昌, 2024年05月08日 | 口头报告, MIRCOTCA在中微子实验和同步辐射光源探测器中的应用 |
| 国内 | 第四届半导体辐射探测器研讨会, 青岛, 2023年5月13日 | 口头报告, ATLAS HGTD 电子学进展 |
| 合作组会 | JUNO-TAO合作组会 | 口头报告3次, FEC电子学进展 |
| | ATLAS HGTD合作组会 | 口头报告4次, PEB电子学进展 |

参与的学术交流、会议报告和论文情况(续)

期刊

通信作者/共同通讯

1. Wang, H., et al. (2024). "Design and thermal simulation of the front-end module for STARLIGHT." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 1067: 169676.
2. Wang, C., et al. (2024). "Radiation tolerance of the MUX64 for the High Granularity Timing Detector of ATLAS." Journal of Instrumentation 19(03): C03044.
3. Su, A., et al. (2024). "Implementation and performance comparison of MMC firmware on RISC-V and ARM-based MCUs." Journal of Instrumentation 19(04): C04007.
4. Qu, M., et al. (2024). "Design of the ASIC readout scheme for the JUNO-TAO experiment." Journal of Instrumentation 19(03): C03063.
5. Ge, Z., et al. (2024). "An FPGA-based front-end module emulator for the High Granularity Timing Detector." Journal of Instrumentation 19(03): C03055.

第二作者

1. Zhai, M., et al. (2024). "HGTD DC/DC converter in low temperature and magnetic field operation." Journal of Instrumentation 19(02): C02006.
2. Li, H., et al. (2024). "A study of the latest updates of the readout system for the hybrid-pixel detector at HEPS." Journal of Instrumentation 19(06): P06038.

参与

1. Ma, X., et al. (2024). "Study of Calibration for the Dual-Threshold Hybrid Pixel Array Detector of HEPS-BPIX40." IEEE Transactions on Nuclear Science PP
2. Li, X., et al. (2024). "A 5.12-Gbps serializer circuit for front-end fast readout electronics of silicon pixelated detectors." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 1063: 169310.
3. Li, M., et al. (2024). "Optimized design and characterization of HYLITE, a charge-integration readout chip of XFEL." Journal of Instrumentation 19(04): C04003.

在投JINST

"Characterization Results of the First Full-Scale Readout HYLITE Chip for STARLIGHT"

学生培养与其他情况

| 年份 | 负责类型 | 培养学生 | 学生获得的科研成果 |
|------------------------|-------------|-------------------------------|---|
| 2022-2024 2023-2025 | 硕士， 联合培养 | 苏奥琪， 屈满昊， 杜晓彤 (郑州大学) | 已毕业，TAO读出电子学开发与测试 已毕业，TAO时钟系统研制 基于SiPM的ASIC读出方案预研 |
| 2023-2025 | 硕士， 联合培养 | 贾西宁， 王涵 (上海科技大学) | 上海自由电子激光面阵像素探测器模块研制与数据读出 |
| 2023-2025 | 硕士， 联合培养 | 马雪珂 (陕西科技大学) | HEPS硅像素探测器模块刻度研究 |
| 2022-2024 | 客座硕士 | 许梓峰 (南京大学) | 已毕业，HGTD MUX64芯片封装、辐照测试与批量生产 |
| 2023-2025 | 客座博士 | 葛振武 (南京大学) | HGTD PEB性能研究与联合测试 |
| 2024-2026 | 客座博士后 | 韩亮亮 (南京大学) | HGTD PEB设计与生产 |

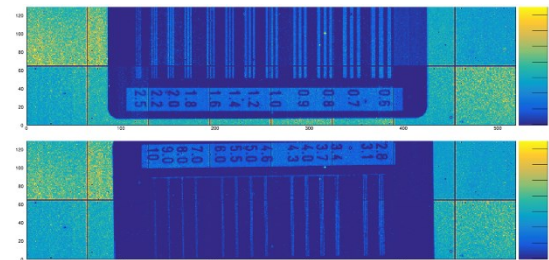
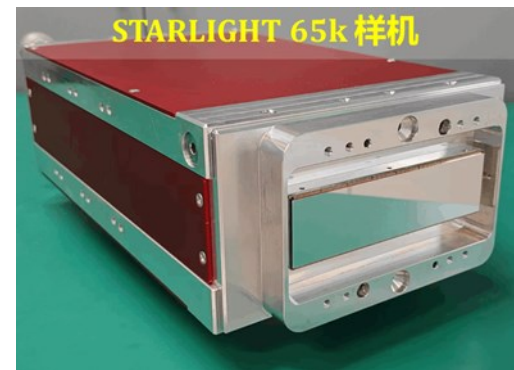
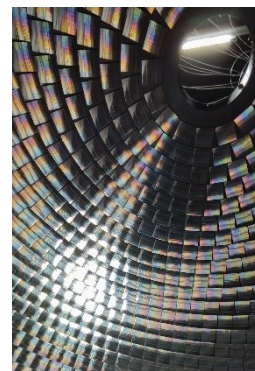
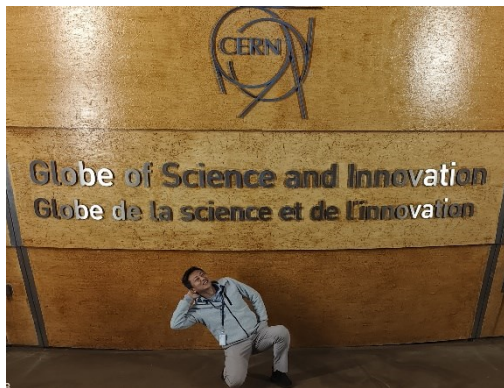
RDTM青年委员、审稿，《核电子学与探测技术》审稿

CEPC workshop分会International Industrial Connection session共同组织

电子学组文件服务器日常维护，<http://elec.ihep.ac.cn/>

未来工作计划

- 1、继续稳步推进HGTD、TAO、HEPS和上海自由电子激光等工程项目，探索并积累电子学关键技术
- 2、逐步转向CEPC，已参与通用电子学和Muon电子学



HGTD探测器电子学安装与测试

参与JUNO-TOO探测器与
电子学安装

自由电子激光
面阵像素探测器



谢谢