

# 2023 ~ 2024年度考核报告

探测器一组  
徐子骏  
特聘青年研究员

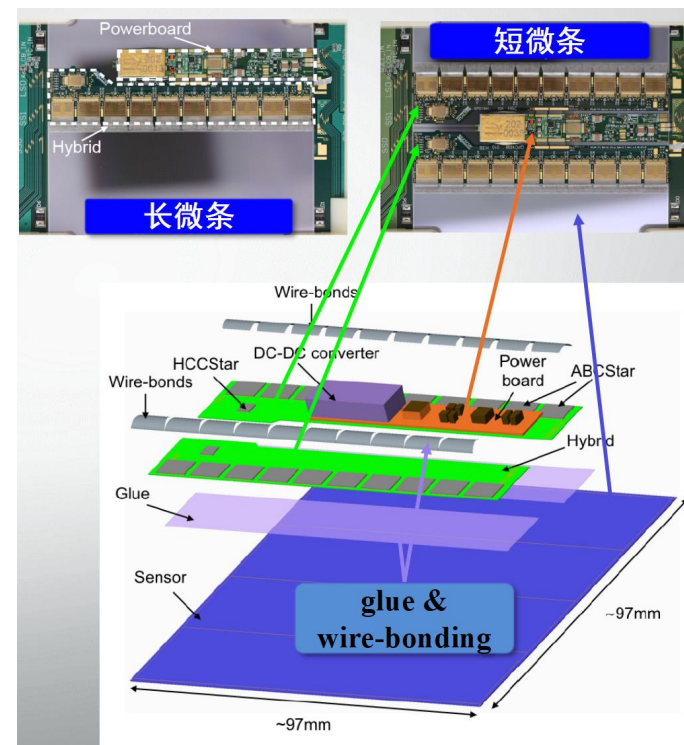
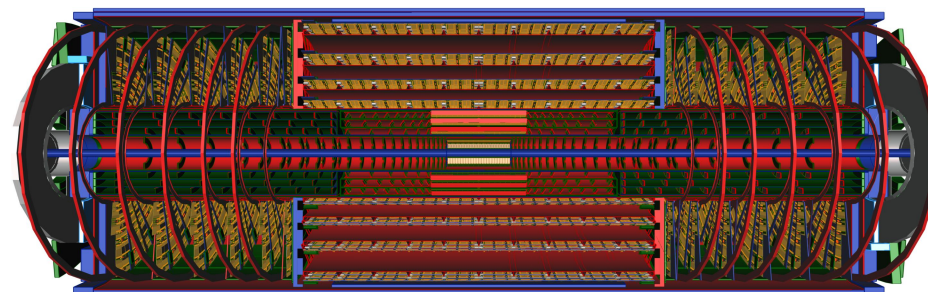


# 岗位职责

- ATLAS ITk 硅微条探测器， 20%
- AMS L0 硅微条探测器， 60%
- LHCb/CEPC 半导体径迹探测器：硅像素芯片 HV-CMOS 研发， 20%

# 任务完成情况： ATLAS二期升级 ITk 硅微条

- ATLAS ITk 共约18000个探测器模块 (~165 m<sup>2</sup>)
  - 高能所牵头中国ATLAS组研制桶部面积 10% 的硅微条探测器模块, ~1000块
  - 2023年10月, 高能所站点通过全部29项探测器生产步骤国际评估
  - 本人主导完成了需要的全部几何测度和电子学测试步骤
- 本人加入ITk电子学专家库, 2024年评审了国外9个生产站点 Site-Qualification文档



## Review Request 000 531: Step 11.10 (Module thermal cycling) for LBNL

LP

Luise Poley

To: zijun xu <xuzj@ihep.ac.cn>; +2 others

Tue 6/4/2024 02:1

Cc: Alessandra Cicio <a\_cicio@lbl.gov>; +1 other

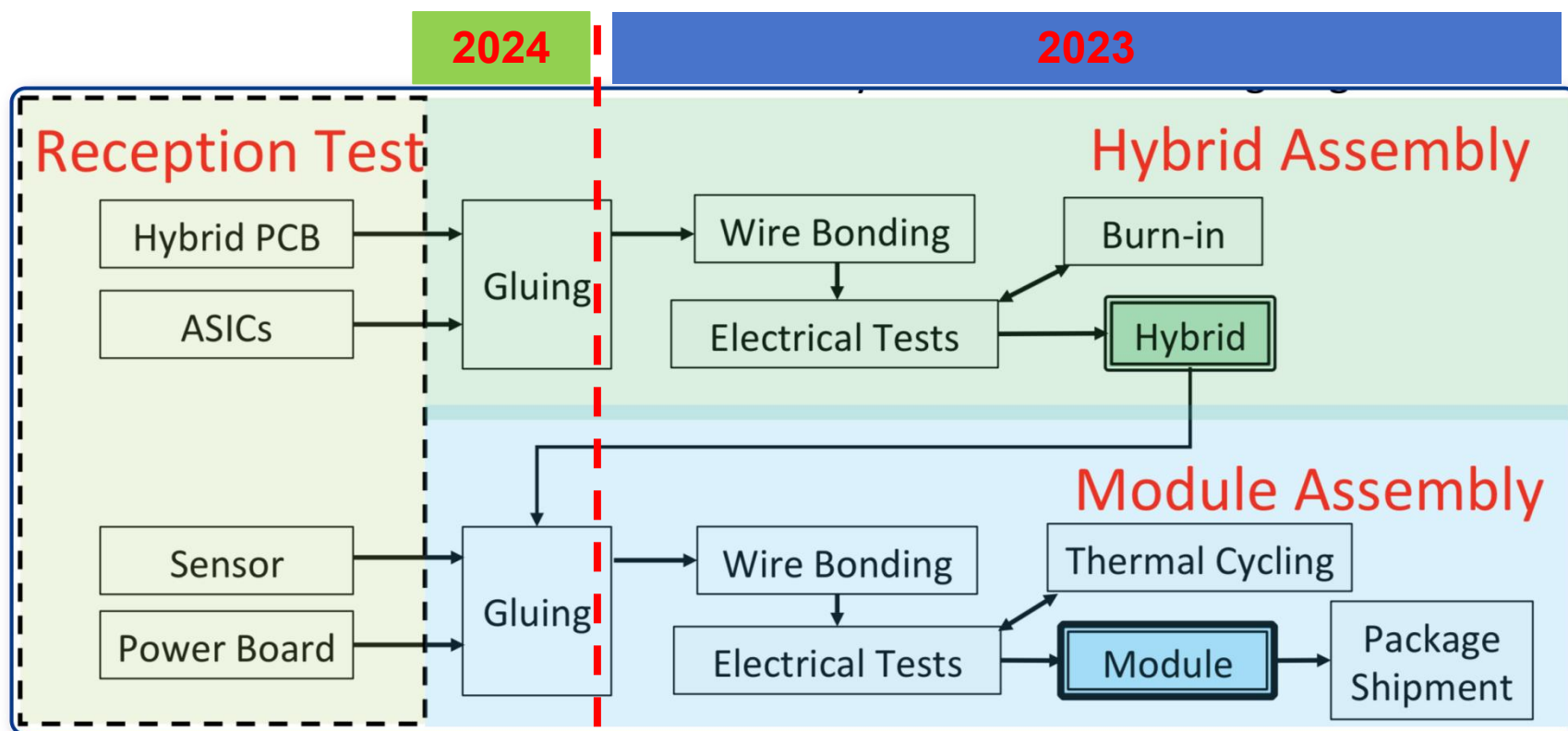
Dear Zijun, Emily and Cole,

welcome to Site Qualification step ID R 000 531: LBNL has requested to be reviewed for module thermal cycling (material here:

[https://docs.google.com/document/d/1SNUQcVTzES5OskNKi\\_orh4Jw1kUxjgBC27wZm8u\\_h8s/edit#heading=h.b4q0yzf5zgbp](https://docs.google.com/document/d/1SNUQcVTzES5OskNKi_orh4Jw1kUxjgBC27wZm8u_h8s/edit#heading=h.b4q0yzf5zgbp))

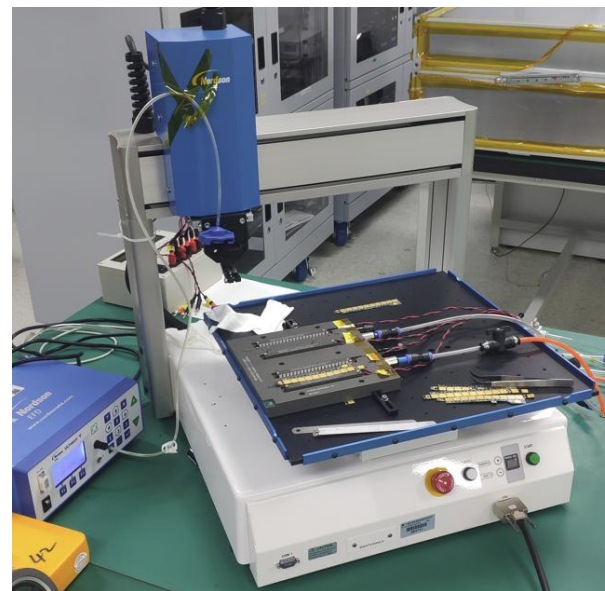
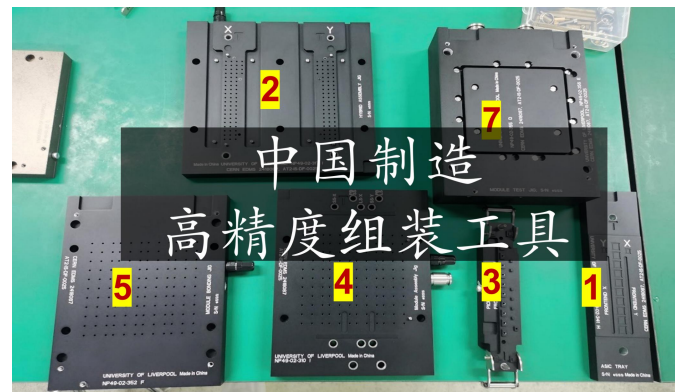
# 任务完成情况：ATLAS二期升级 ITk 硅微条

- 2023年：能（预）生产出合格的硅微条模块
- 2024年：高效、快速、稳定的（预）生产出合格的硅微条模块



# 任务完成情况： ATLAS二期升级 ITk 硅微条

- 2024年： **高效、快速、稳定的**（预）生产出**合格的硅微条模块**
- 推动清华和交大李所ATLAS组加入项目
  - 培训清华研究生去英国卢瑟福实验室开展ITk生产
  - 清华博士后在高能所ITk项目工作一年后申请到UW-CERN博士后职位
- 推动中大ATLAS组负责生产工装，20 $\mu$ m精度达标
- 招募博士后（**蔡孟珂**）+ 本科生科创
  - 攻克点胶速度慢且质量控制困难，要求：43.8  $\pm$  2.62 mg (~6%)
  - 实现近100%合格率 (PPB-2: 10; PPC: 4; dummy: 10+)
  - 点胶时长30 min  $\rightarrow$  5 min



# 任务完成情况：ATLAS二期升级 ITk 硅微条

- 2024年：**高效、快速、稳定**的生产出**合格的硅微条模块**

- 帮助合作组解决硅微条传感器低温碎裂问题

- 自研工具增加垫层和胶水，组装的模块没有碎裂

[Site Interposer Assembly Procedures](#)  
[Interposers - technical discussion · Indico](#)

- 成功通过预生产阶段 PPB-1和PPB-2

- 完成带垫层的部件及模块：6x LS模块, Hybrid: 10x PPB-2, 4x PPC, PB: 6

- PPC阶段: rFDR (1%) 与 rPRR (5%)

- 原型 iLS (2条) and iSS (1条) 桶条
- 验证interposer工艺解决了sensor碎裂问题
- 高能所参与第一批原型模块生产 (已寄出部分模块)

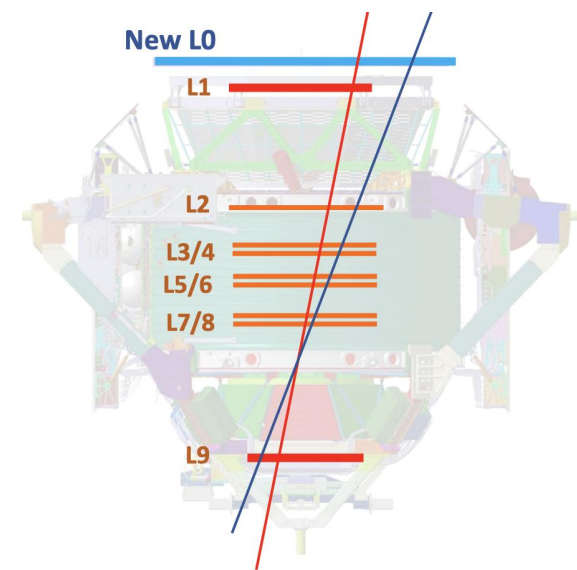
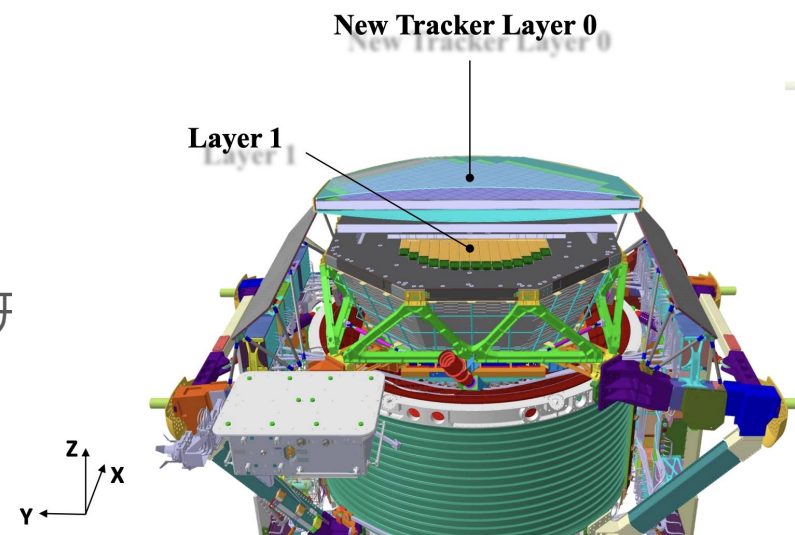
iLS STAVE 2	BHM	CAM	GLA	IHEP	LIV	RAL	SHF
Deliverable: modules	5	5	5	3	5	3	5
LS production sensors	5	5	5	3	5	3	5
Laminated Hybrid arrays					37	6 + 6	
LS X interposer thin flex	12			4	12	4	
HCCStar	12			4	12	4	
ABCStar cat B	140			40	140	40	
Powerboards	5	5	5	3	5	3	5



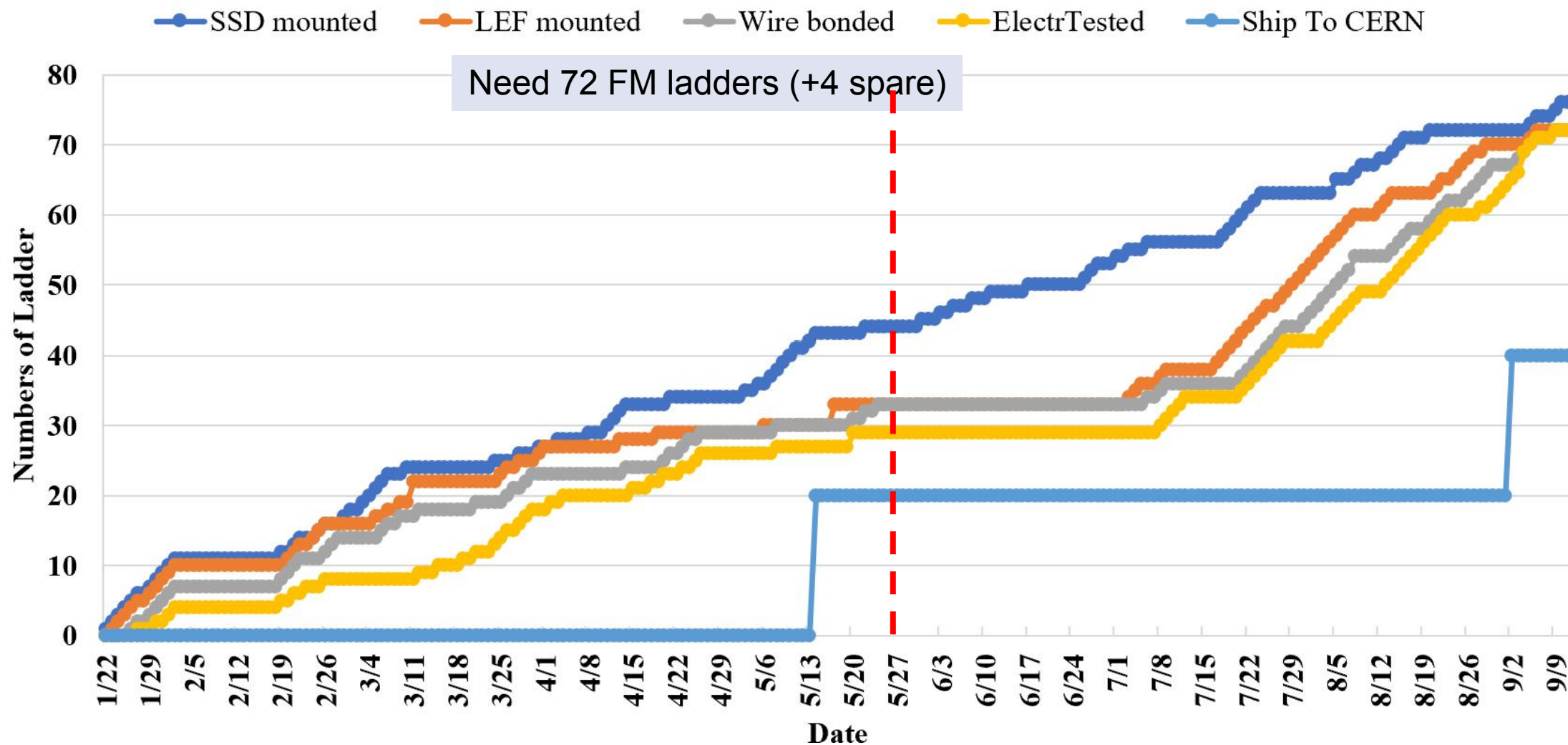
Cluster	Site	SQ status
UK+China	Birmingham	100 %
UK+China	Cambridge	100 %
UK+China	Glasgow	96 %
UK+China	IHEP	100 %
UK+China	Liverpool	100 %
UK+China	RAL	100 %
UK+China	Sheffield	100 %

# 任务完成情况：AMS L0 硅微条

- AMS实验是丁肇中先生领导的粒子天体物理学实验
- 人类唯一的空间磁谱仪,反物质、暗物质、高能宇宙射线起源等研
- L0层升级将增加300%的宇宙线接受度
  - 1米长模块,最多12块SSD,目标:组装精度优于5微米



# 任务完成情况：AMS L0 硅微条

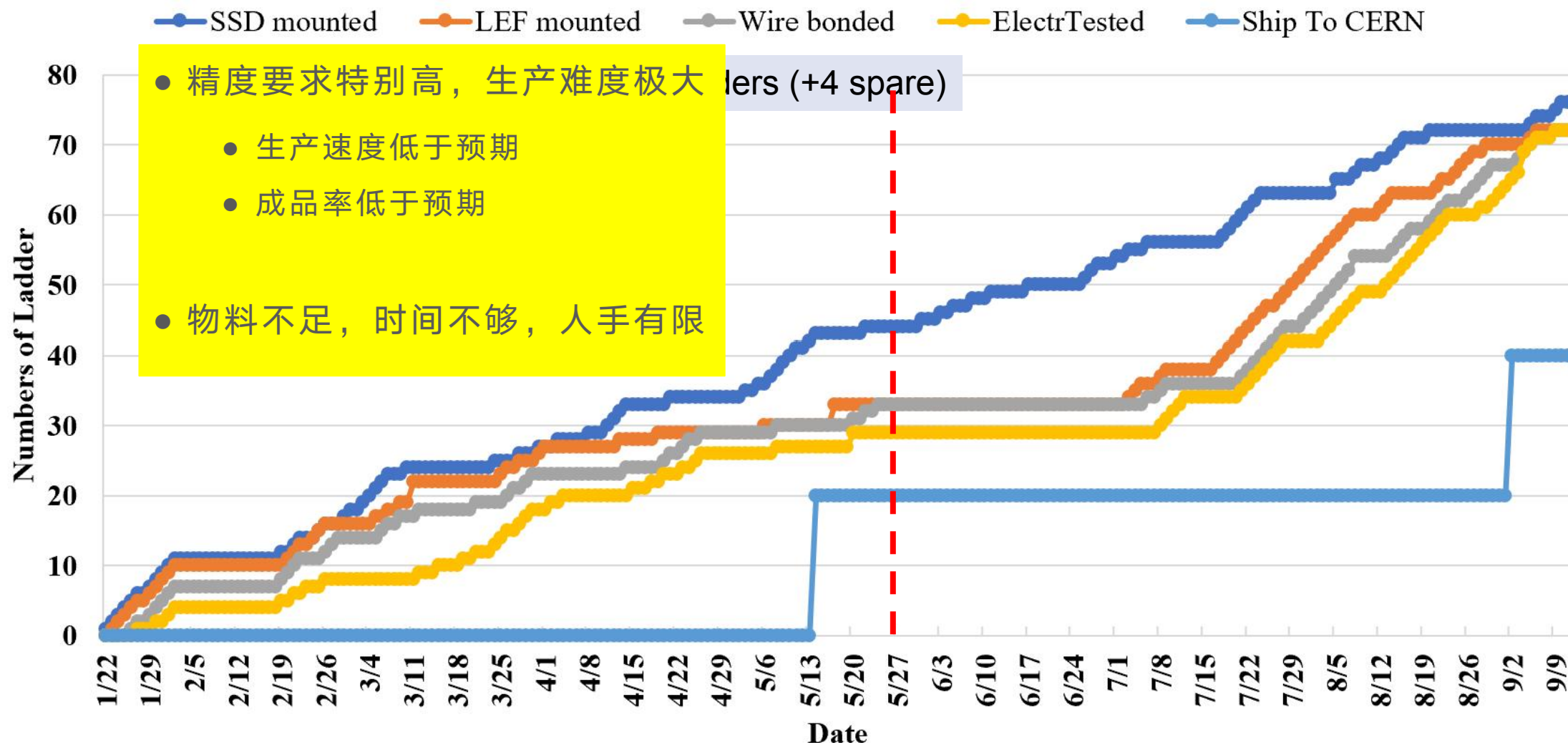


生产出合格的模块

高效、快速、稳定的生产出合格的模块



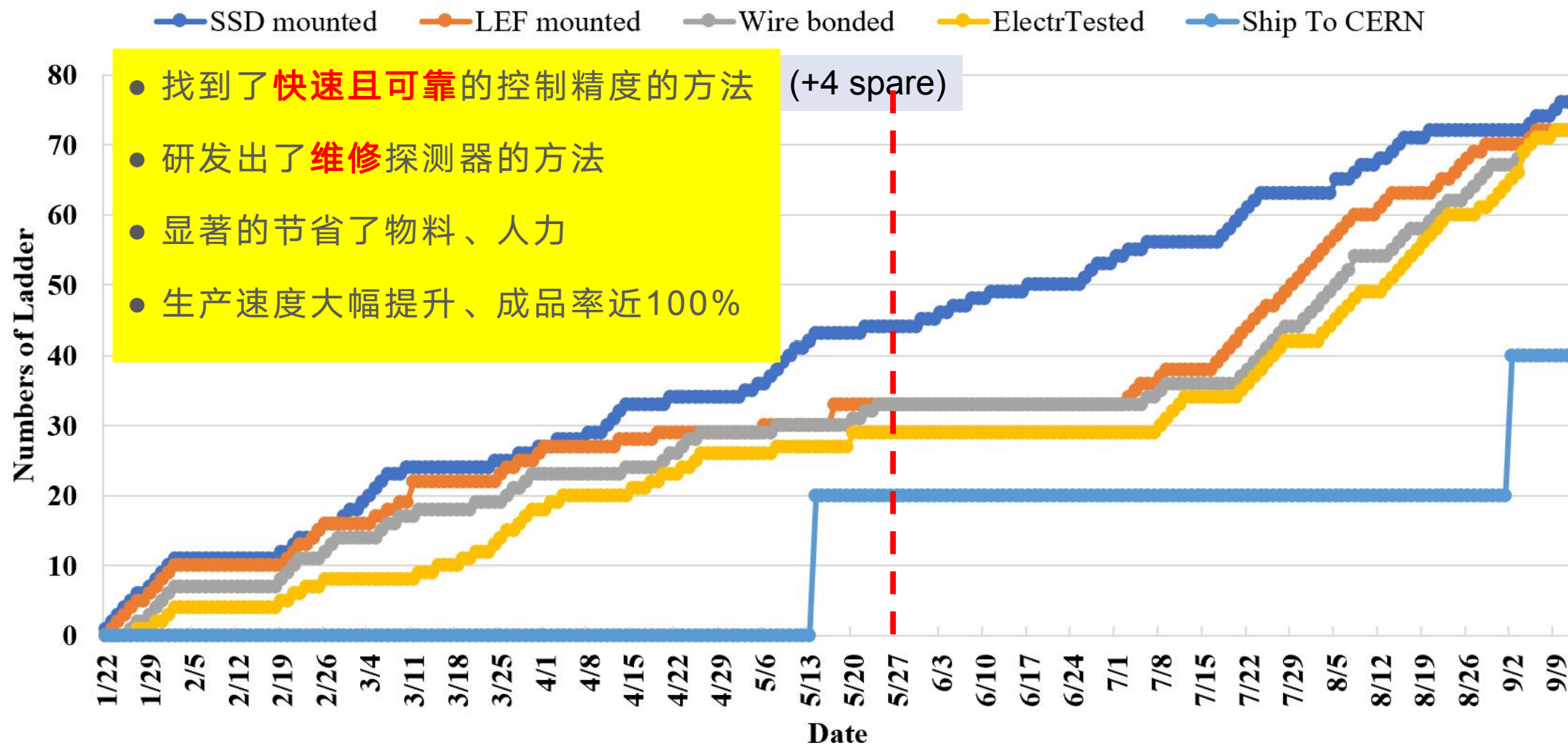
# 任务完成情况：AMS L0 硅微条



生产出合格的模块

高效、快速、稳定的生产出合格的模块

# 任务完成情况：AMS L0 硅微条

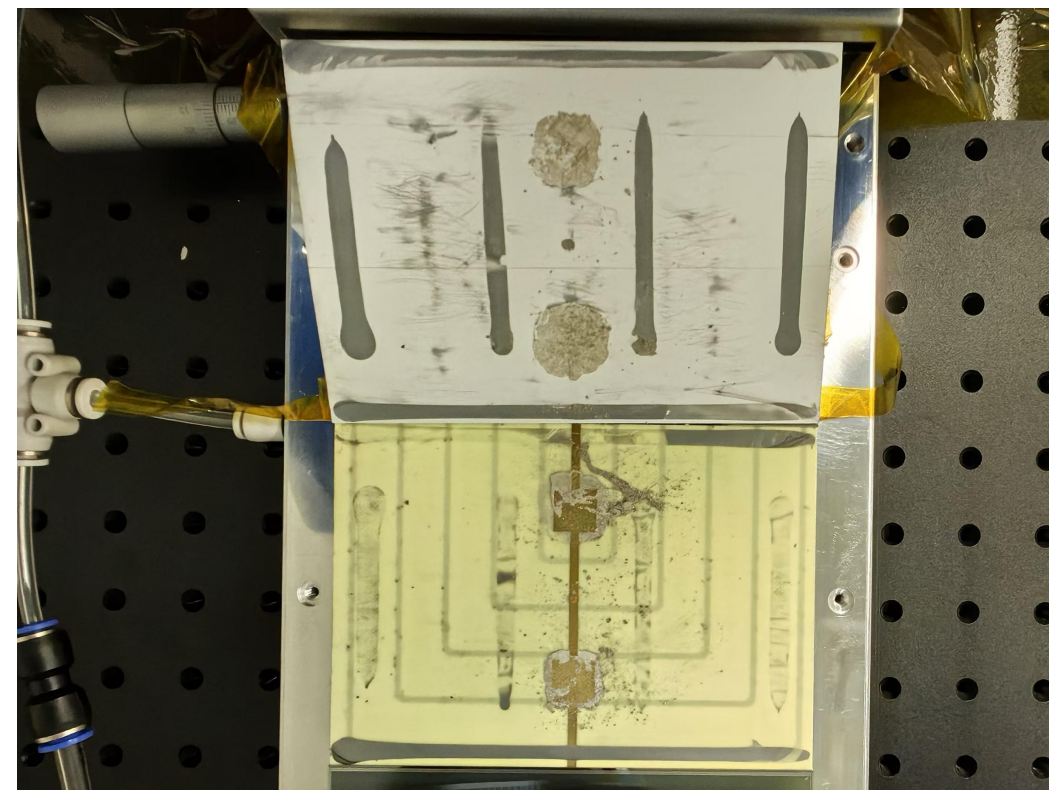
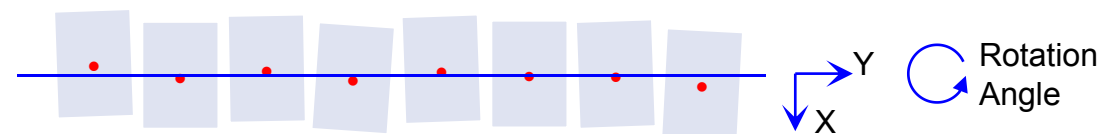
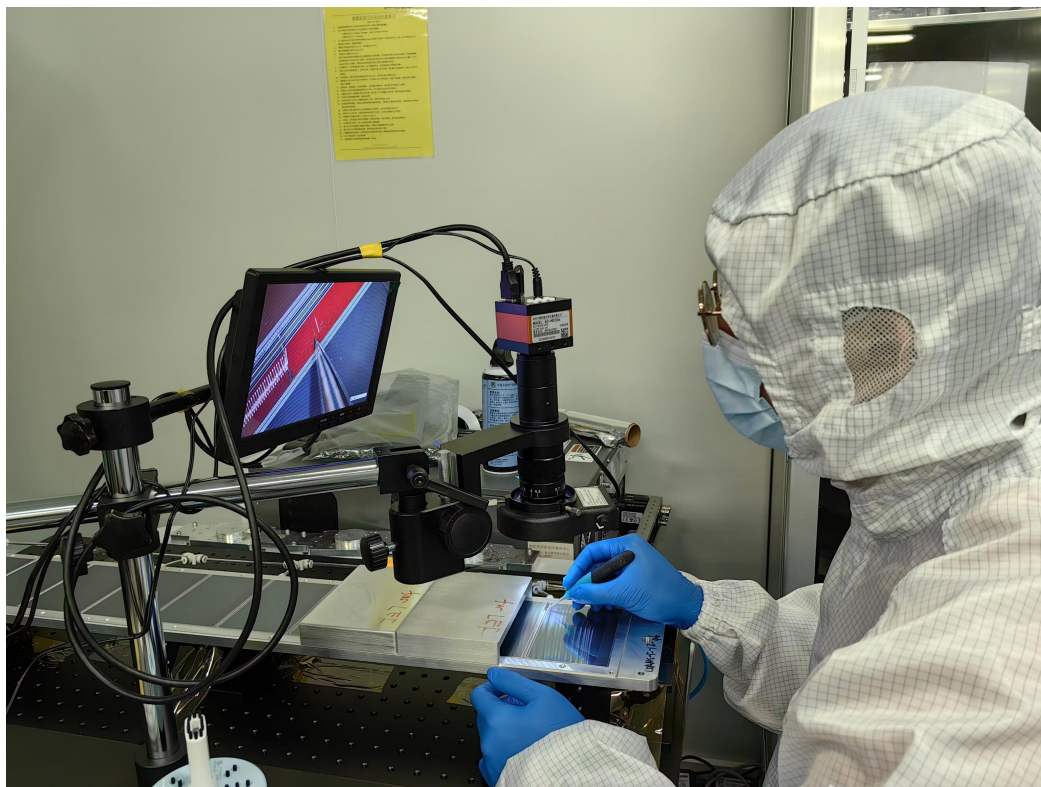


生产出合格的模块

高效、快速、稳定的生产出合格的模块

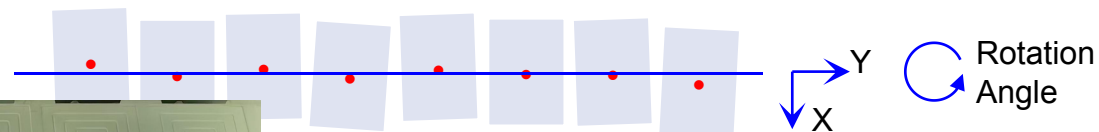
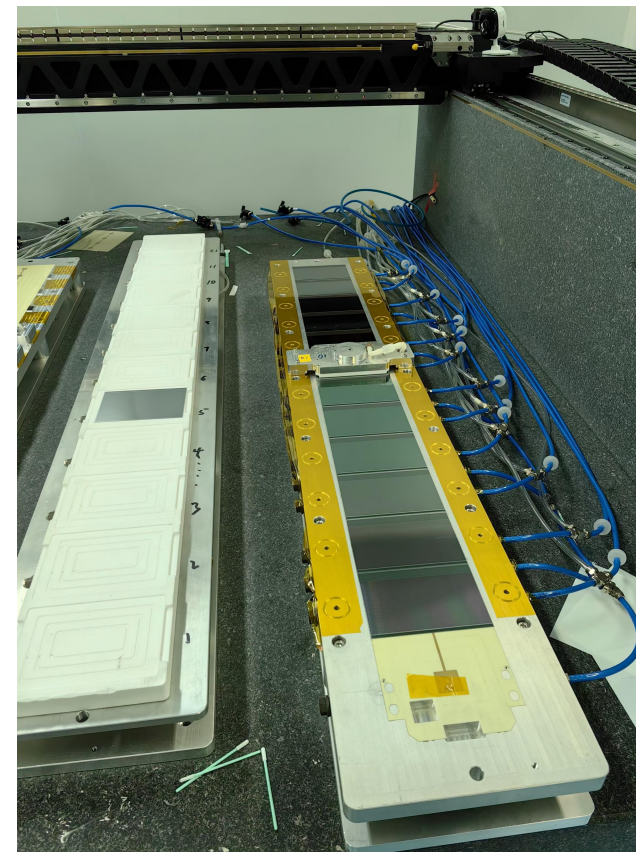
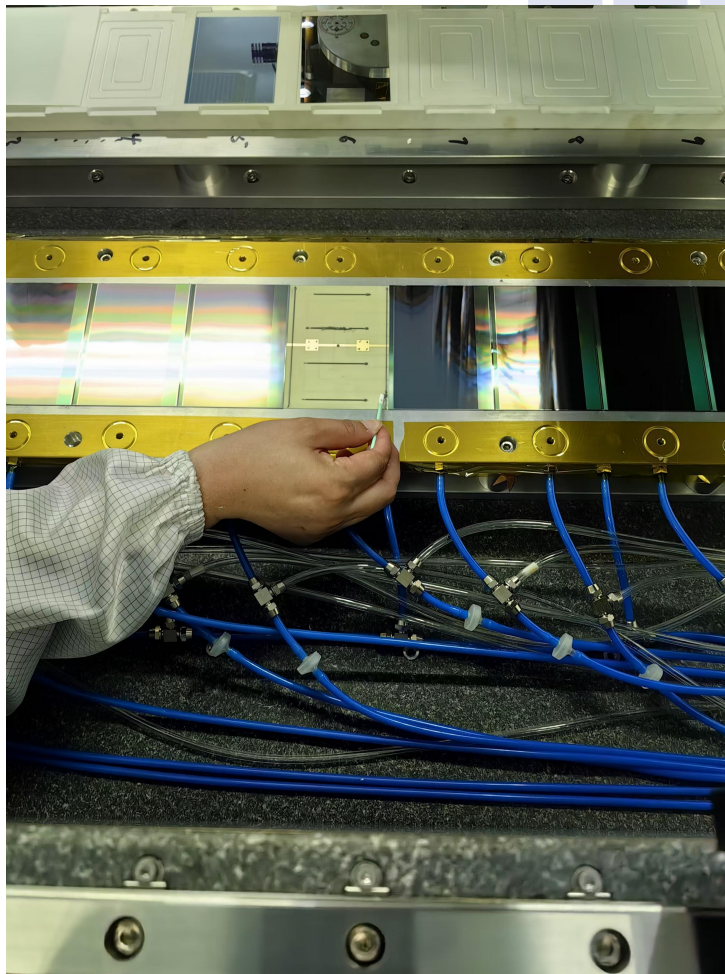
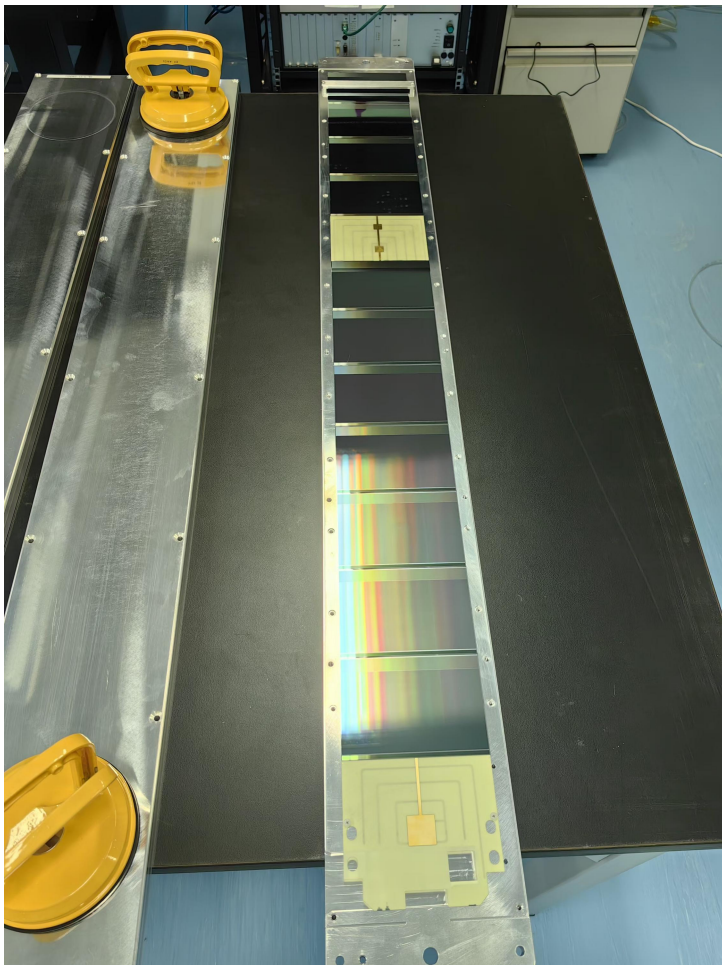
# 任务完成情况：AMS L0 硅微条

- 探测器修理

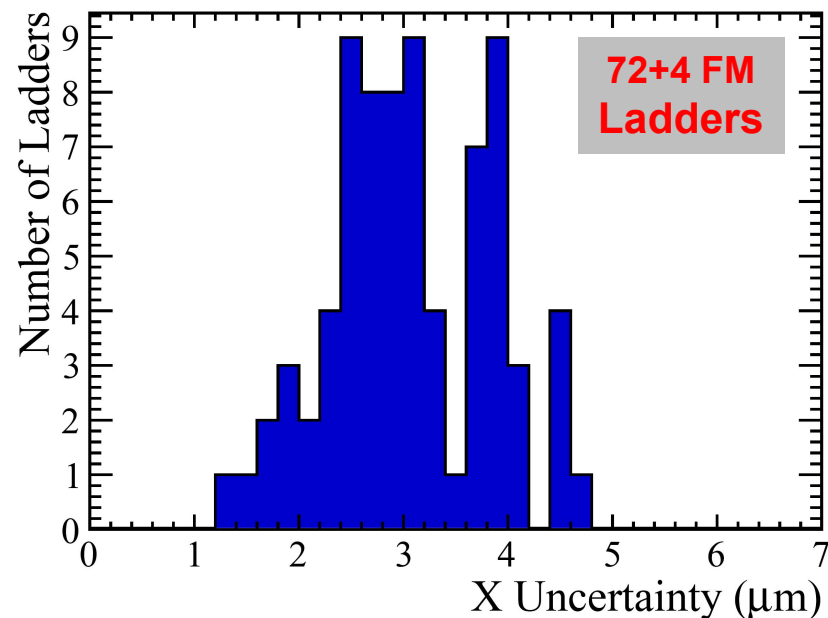
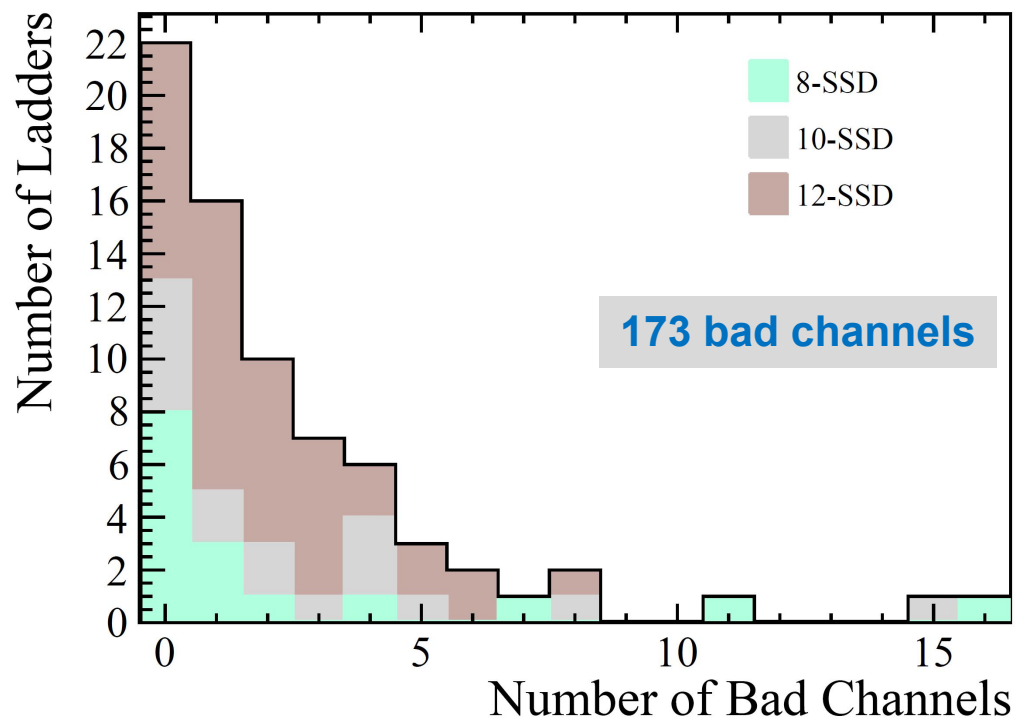
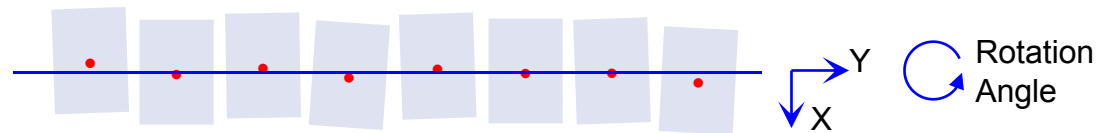


# 任务完成情况：AMS L0 硅微条

- 探测器修理



# 任务完成情况：AMS L0 硅微条



- 坏道总数 173道，占总道数约0.23%

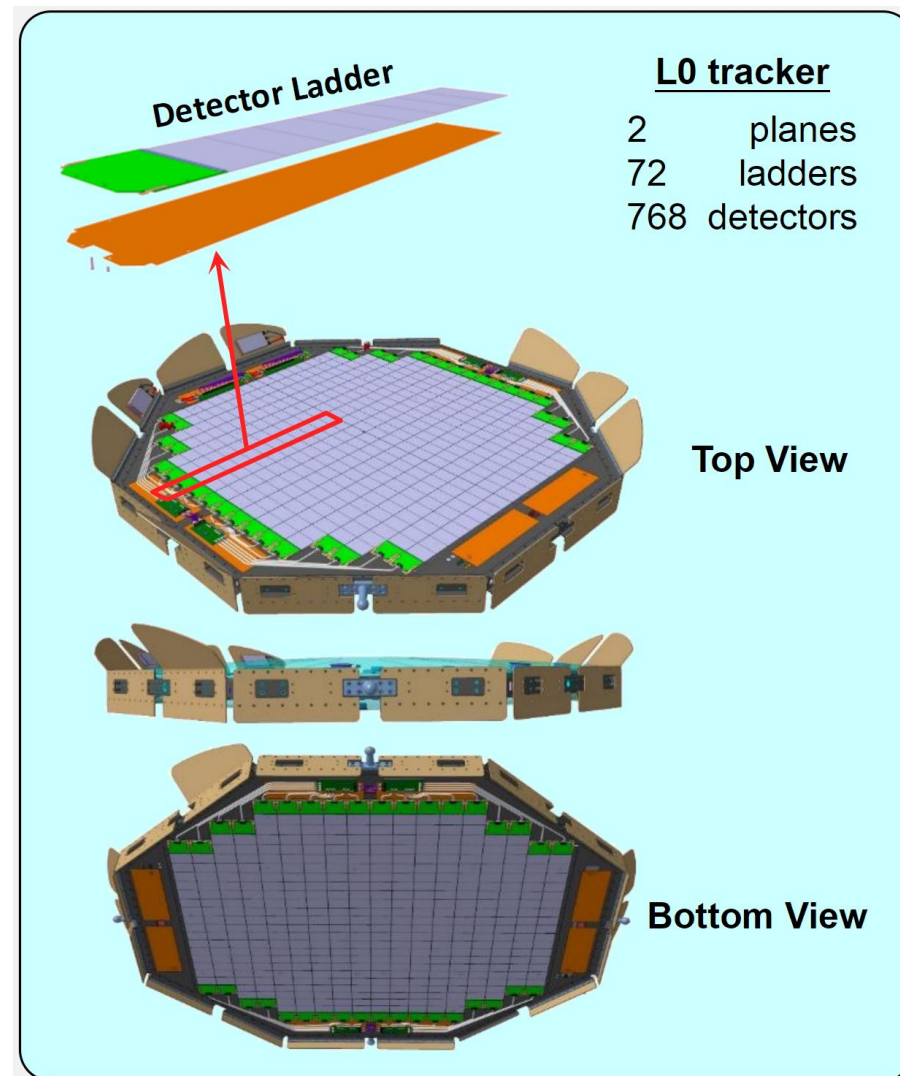
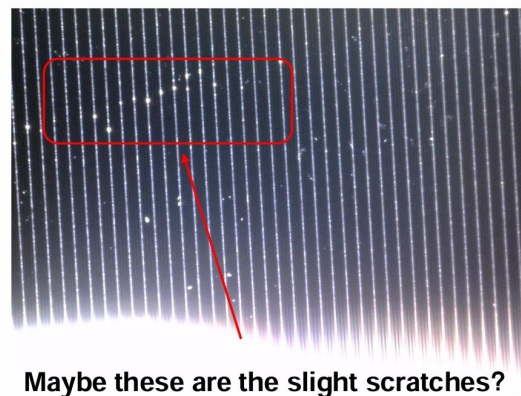
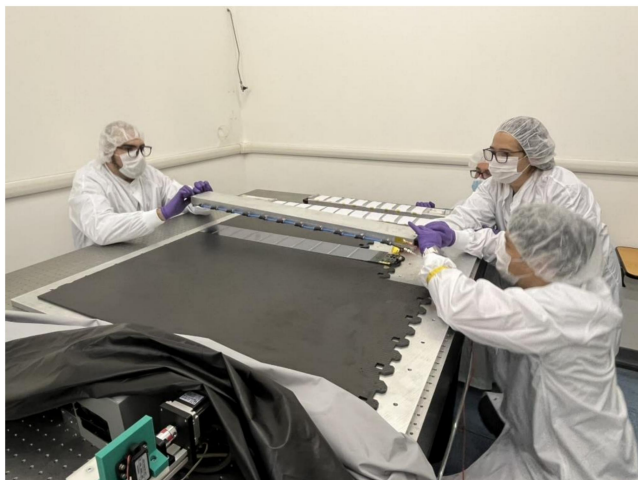
Overall contribution to the X precision  
if no correction is applied

$$\sigma_x = 3.4 \mu\text{m}$$

远超此前国际同类探测器10-20微米的精度

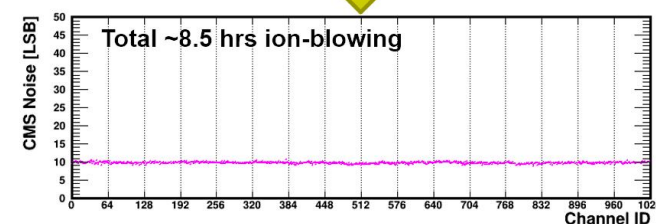
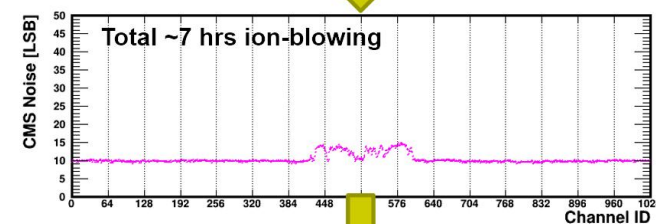
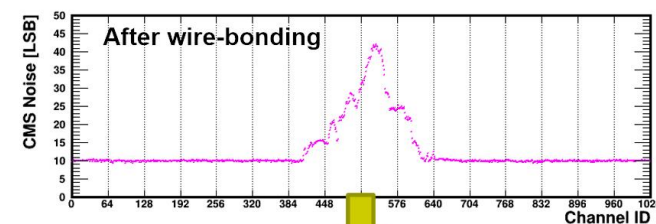
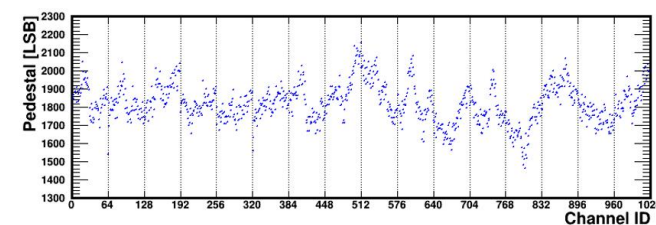
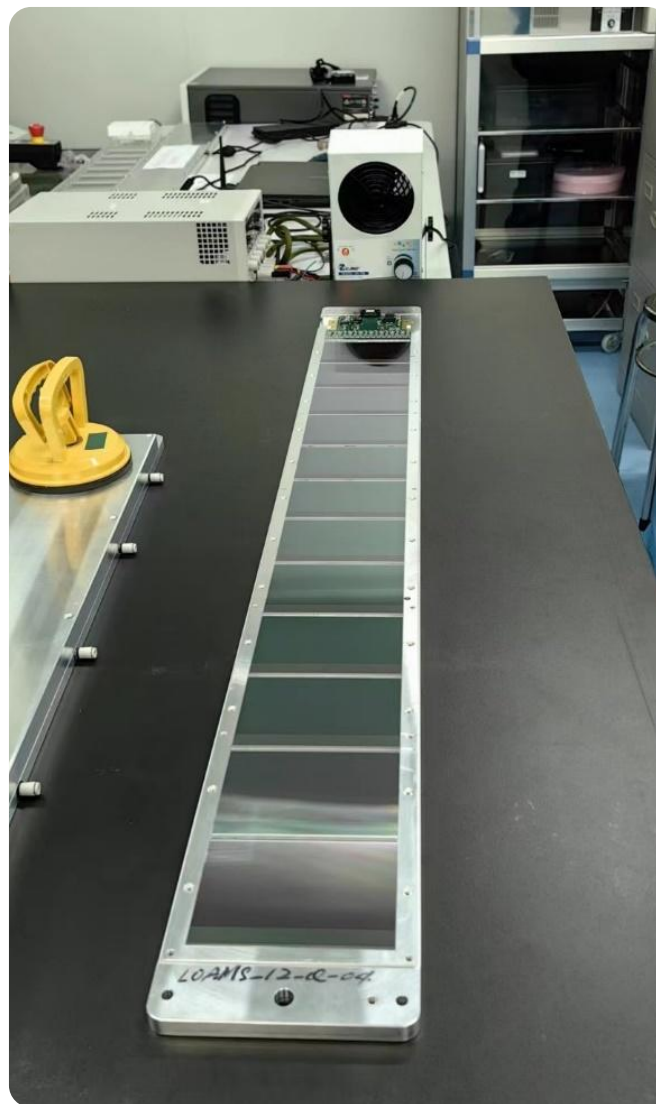
# 任务完成情况：AMS L0 硅微条

- 探测器模块在意大利组装成探测器平面
- 远程指导高能所2位博士生与INFN-佩鲁贾的同事合作
  - 明确证实其工装会导致探测器损坏，防止了更大的损失



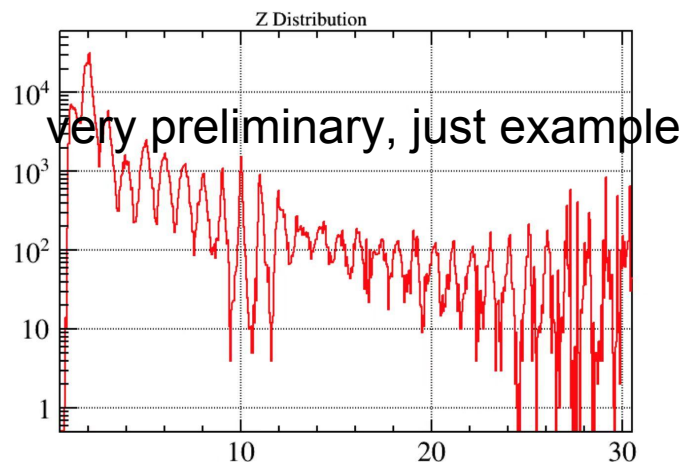
# 任务完成情况：AMS L0 硅微条

- 负责生产中的电子学测试
- 首批生产出的ladder有异常噪音
- 24年3月找到了所有导致静电的生产步骤，改进后避免了静电问题，提高了生产效率
- 表面静电导致电子学噪音异常的机制基本清晰，文章准备中

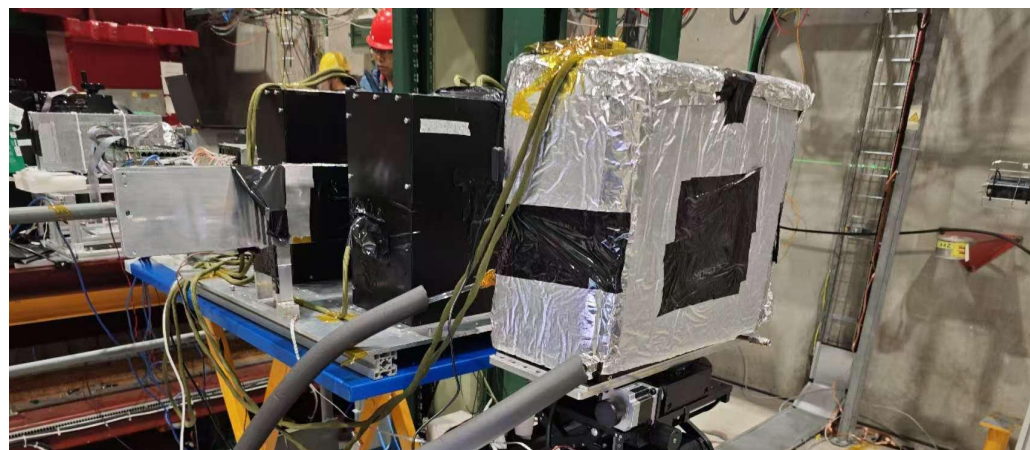
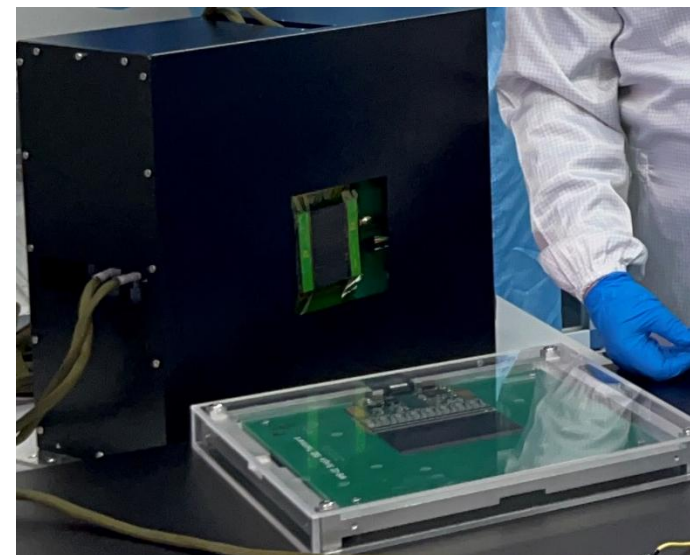


# 任务完成情况：AMS L0 硅微条

- 利用硅微条SSD和读出电路板搭建束流望远镜系统
  - 23~24年，多次利用高能所电子束和CERN的质子、缪子和离子束进行实验
  - 2025~26年，AMS L0 平面的测量
- 利用23~24年束流，已经/即将取得：
  - 传感器SSD的详细性能分析（高能所主导）
  - 束流望远镜的性能分析（高能所主导），尤其是对重核的鉴别和位置重建性能
  - 探测器模块ladder的性能分析（意大利主导，高能所参与）



Beam Monitor

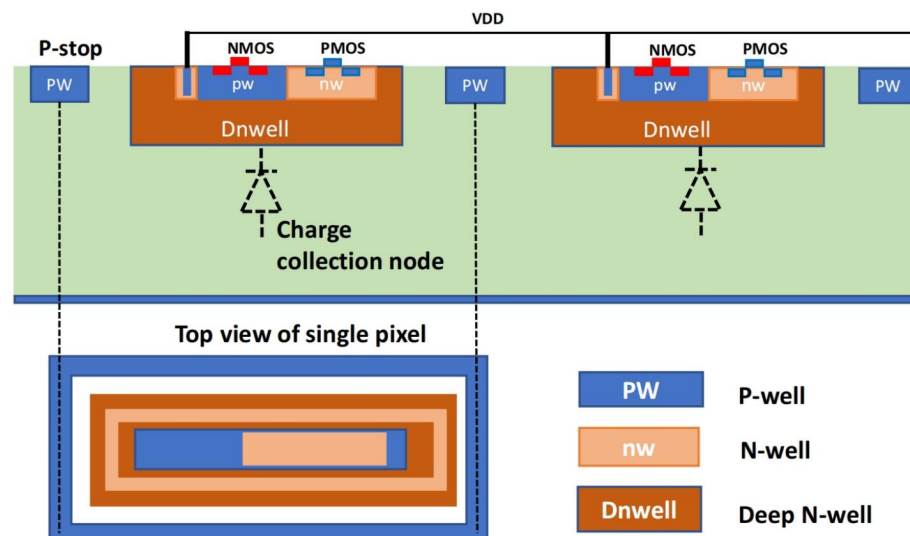
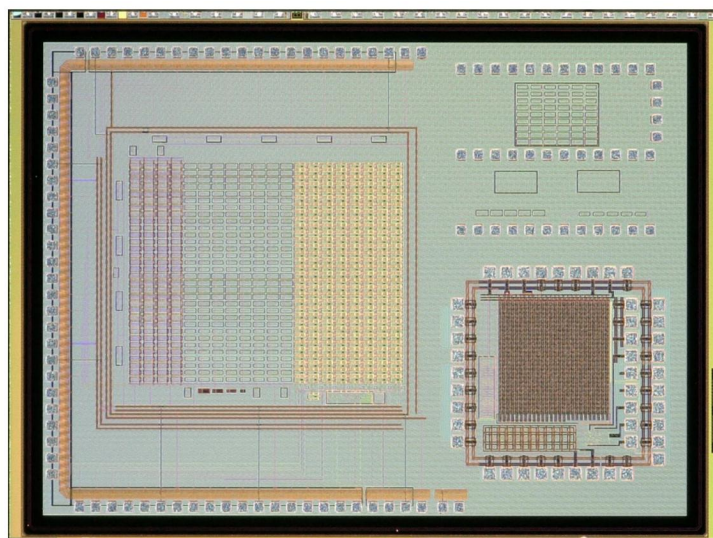


BM1 + ladder + BM2 + BM3(温控)



# 任务完成情况：国产 55nm HV-CMOS研发

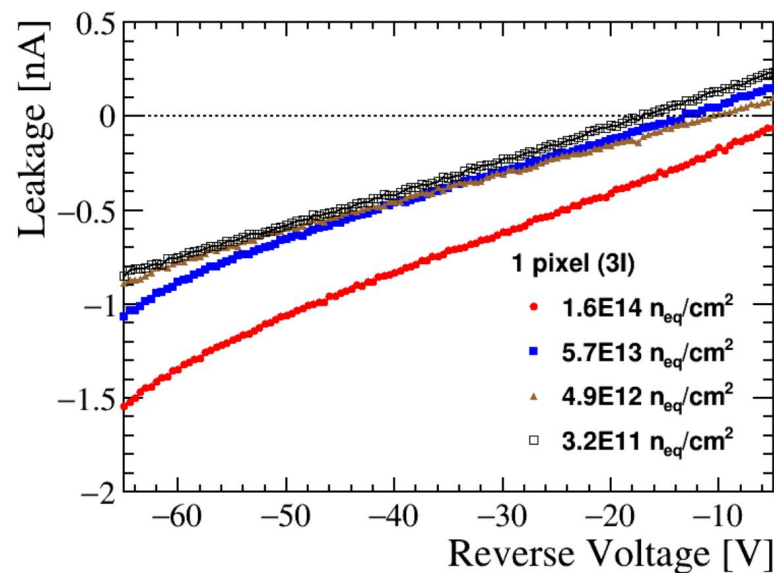
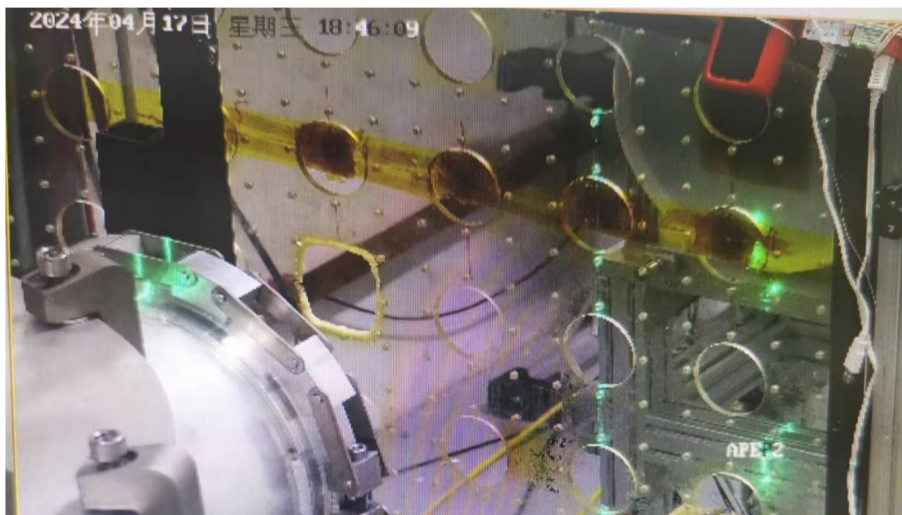
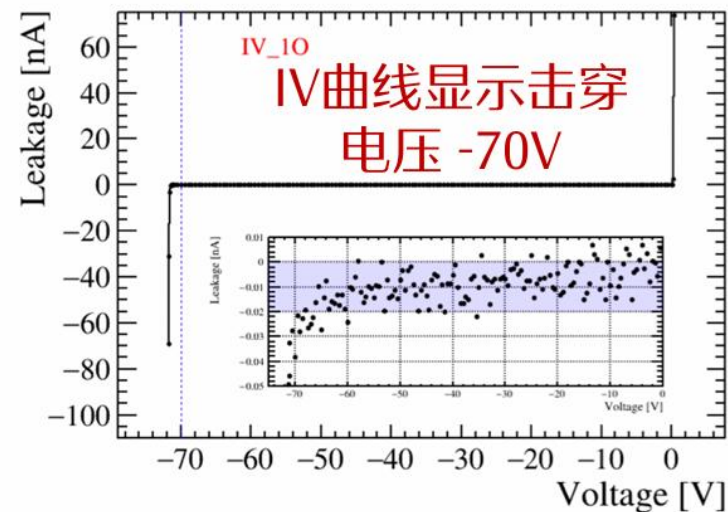
- 复合型硅像素：像素大小受倒装焊限制，价格贵，物质量难以减低
- 单片型硅像素芯片：更高的集成度，原理上突破复合型芯片的限制
  - 高压CMOS技术是CEPC径迹探测器和LHCb上UT升级的重要技术选项
  - 国产工艺、先进制程的CMOS产线，是该技术可用于未来项目的前提，在过去一年实现0的突破
- 2023年8月MPW：55nm高压CMOS工艺，高阻衬底，加入像素内放大器和数字电路等



NIMA Volume 1069 P169905 (2024)

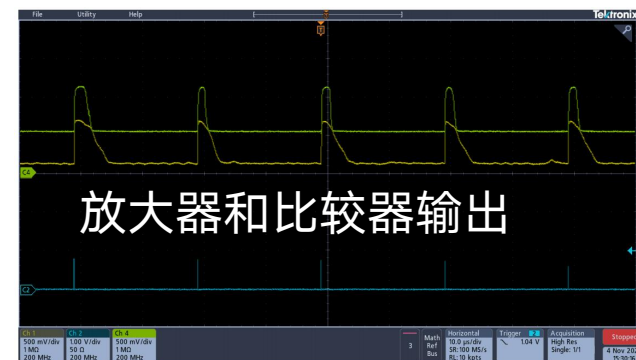
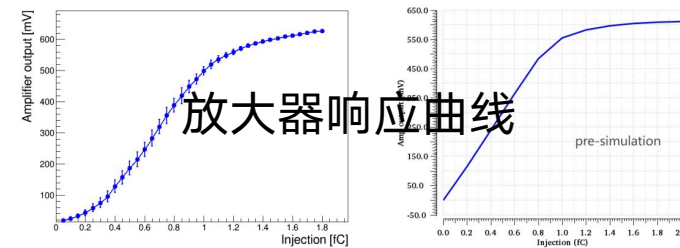
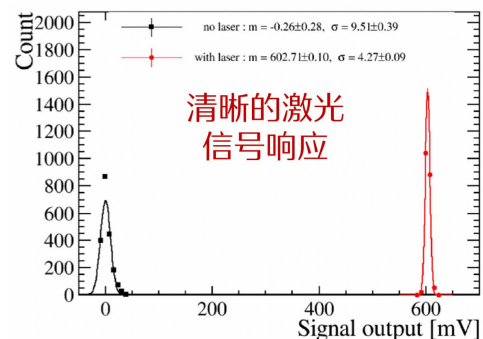
# 任务完成情况：国产 55nm HV-CMOS研发

- 负责芯片的性能测试，招募博士后（项治宇）
- 首个基于国产先进55nm制程的高压CMOS原理验证芯片取得良好测试结果
  - 击穿电压-70V，单像素电容30-40fF=》sensor模拟的重要对比依据
  - 利用散裂80MeV质子束辐照研究
  - $10^{14}n_{eq}/cm^2$ 辐照后暗电流从~0.01nA增长到~1nA
  - 后续将仔细研究sensor的抗辐照性能



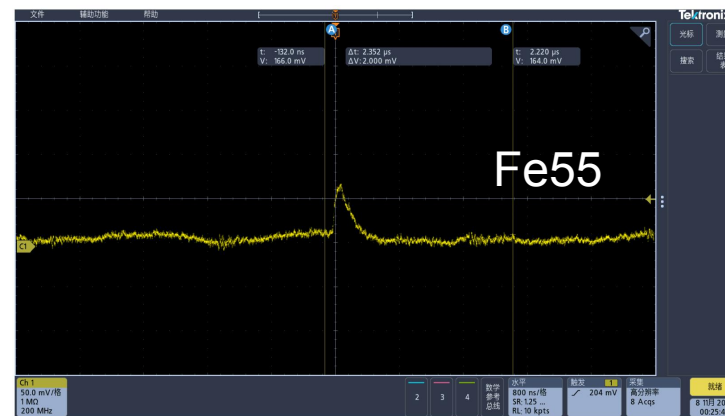
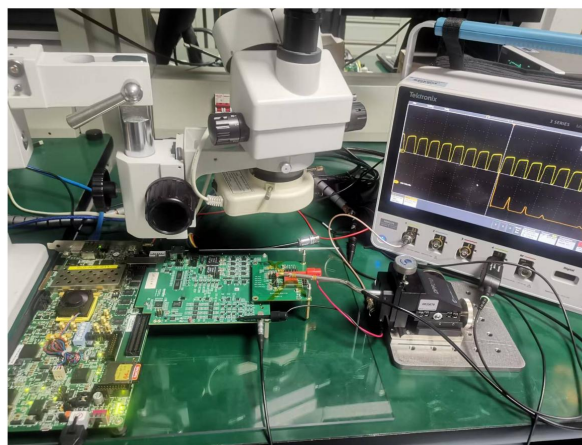
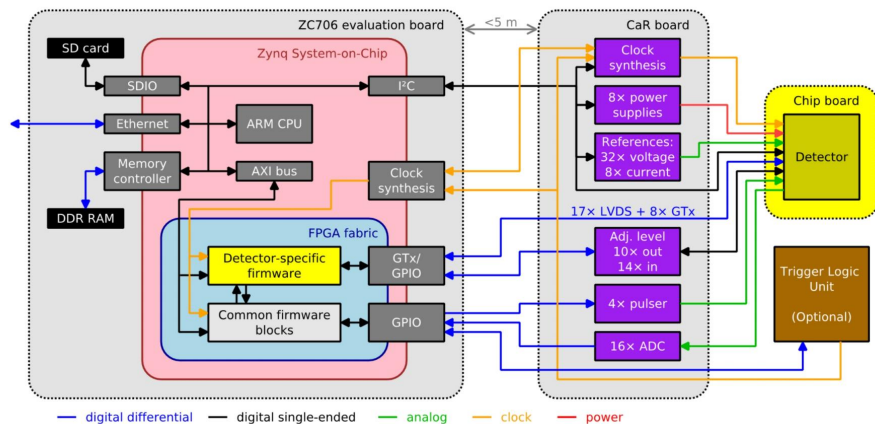
# 任务完成情况：国产 55nm HV-CMOS 研发

- 基于开源Caribou DAQ系统，搭建测试系统，
  - 软件+固件开发，硬件调试
  - 像素内放大器、比较器电路工作正常
  - 观测到激光、X射线（铁55）等放射源的信号响应



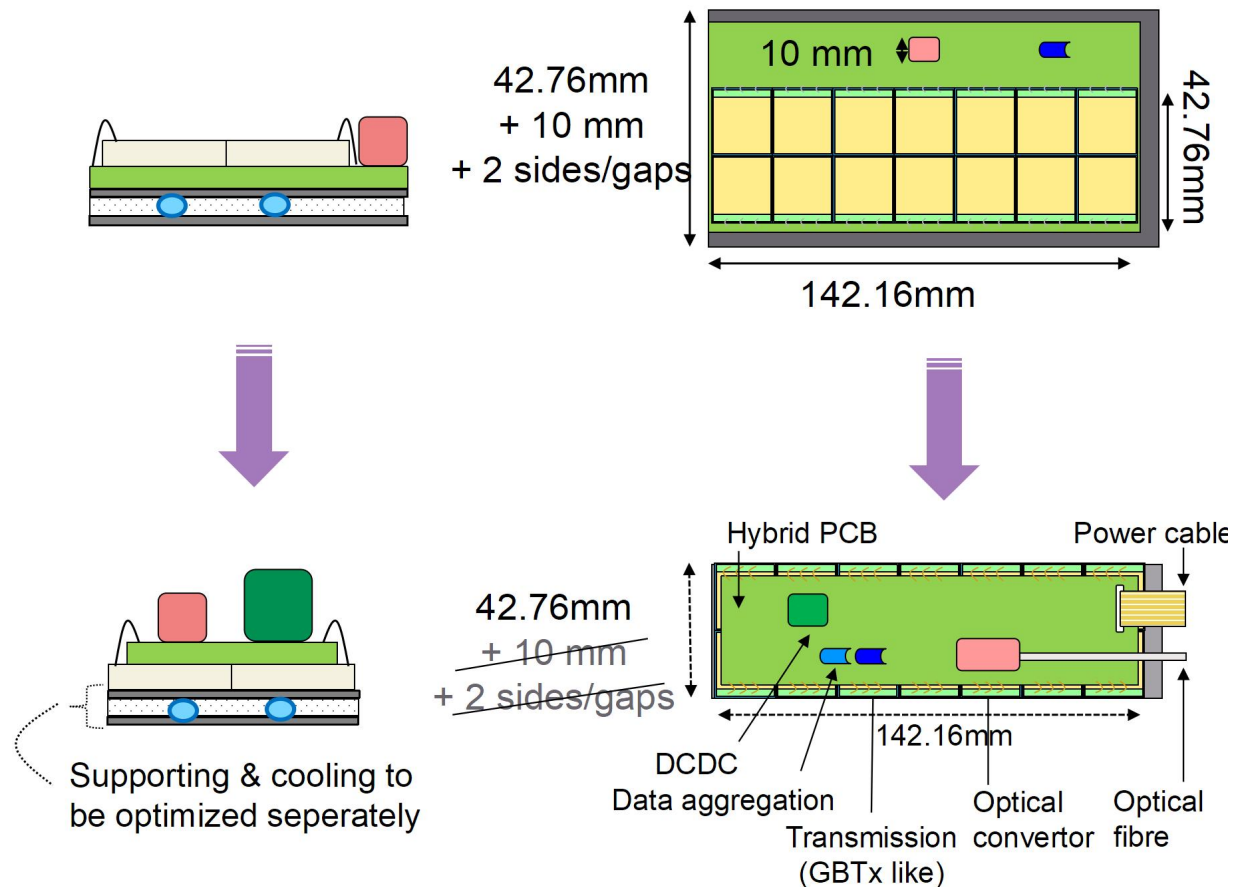
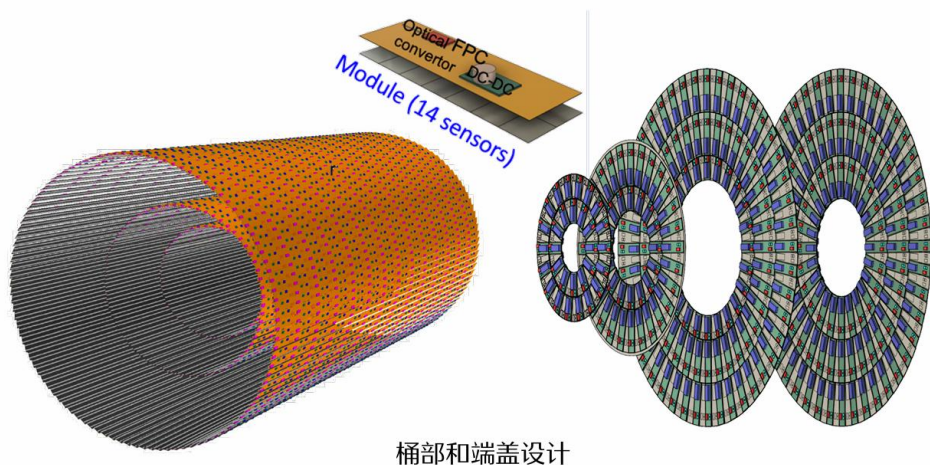
PC + ZC706 + Caribou board + specific carrier board

## Caribou system architecture



# 任务完成情况：国产 55nm HV-CMOS研发

- 基于HVCMOS技术的CEPC内层径迹探测器方案被 Ref-TDR选为基准
- 基于硅模块制作的经验，共同提出模块设计新方案（7月24日报告）
  - 芯片的控温更好；侧边没有额外死区
  - 新方案桶部更容易设计，且适用于搭建端盖



# 成果与经费

- 论文

- Feasibility study of CSNS as an ATLAS ITk sensor QA irradiation site, NIMA 1063 (2024) 169288
- LHCb探测器及升级计划, 科学通报2024, 69(31): 4529 – 4539
- Feasibility study of CMOS sensors in 55 nm process for tracking, NIMA1069(2024) 169905
- Electric field measurement by edge transient current technique on silicon low gain avalanche detector, NIMA 1065 (2024) 169479
- High-precision CSNS beam monitor system conceptual design based on SiC, RDTM (2024)
  
- AMS项目中部分工作正在整理结果, 论文撰写中……

- 专利:

- 一种低增益雪崩探测器仿真方法及系统, 发明人: 史欣; 肖素玉; 王聪聪; 张希媛; 徐子骏; 朱霖
- 一种倒装焊BJT碳化硅探测器芯片, 发明人: 王聪聪, 史欣, 张希媛, 徐子骏

# 成果与经费

- 已获批经费：

项目	来源	角色	年份	经费
AMS探测器升级	科技部	骨干	2022-2027	2000万
人才计划	国家+院	负责	2024-2026	院：300万 国家：200万
LHCb UT探测器芯片	基金委国际合作	骨干	2025-2028	300万(已答辩)
CEPC ITK硅像素探测器	河南科学院	参与	2024-2027	1000万
HVCMOS芯片	所创新	骨干	2024-2026	150万
ATLAS ITk升级	科技部	参与	2020-2024	管理100 万

- 指导博士后（项治宇）获得第76期博士后面基金8万元，硅像素芯片项目

# 学术交流和发展规划

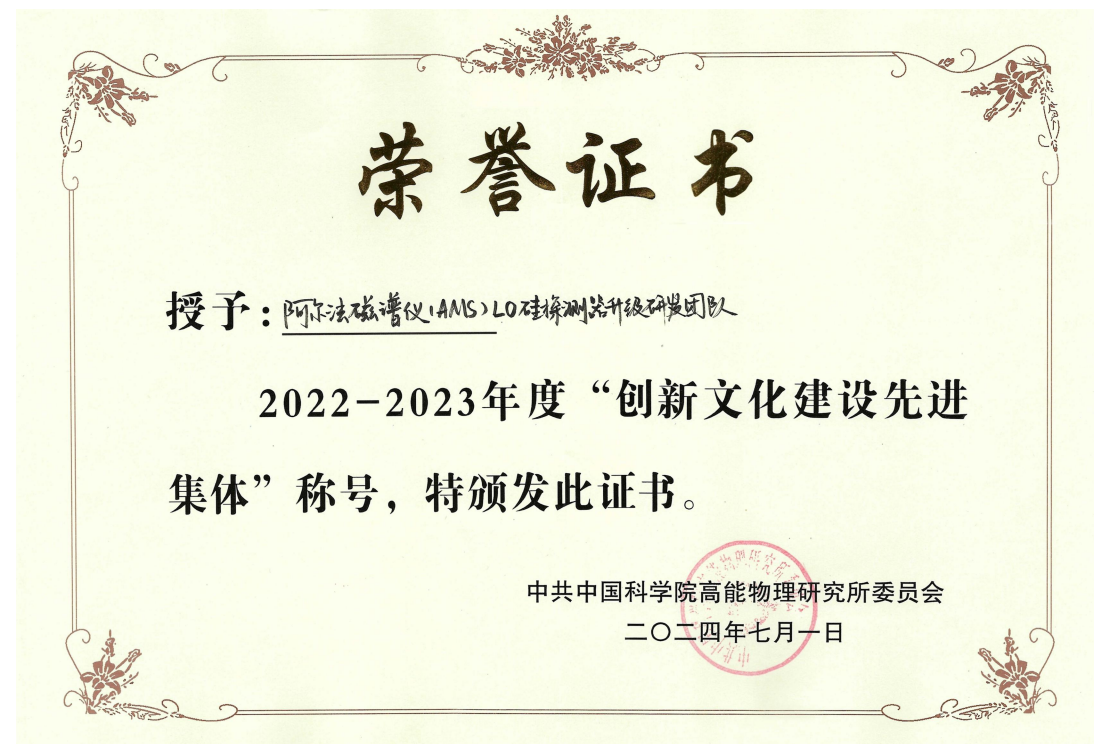
- 学术交流

- The 2024 European Edition of the International Workshop on the CEPC, 会议报告, AMS L0 Upgrade
- 海峽兩岸尖端探測器與技術研討會, 会议报告, AMS-02 Layer0 Tracker Upgrade
- 中国物理学会高能物理分会第十四届全国粒子物理学术会议, 会议报告, AMS-02 Layer0 Tracker Upgrade
- 中国物理学会高能物理分会第十四届全国粒子物理学术会议, 合作博士后报告, The ATLAS ITk Strip Detector for the LHC Phase-II Upgrade
- 12th Beam Telescopes and Test Beams Workshop, 指导学生报告, A Beam Monitor For The AMS-02 Layer0 Tracker Upgrade
- 第十届中国LHC物理会议, 合作博士后报告, CMOS R&D for LHCb UT in Upgrade II;
- 中国物理学会高能物理分会第十四届全国粒子物理学术会议, 粒子物理实验技术分会的poster评审负责人;

# 公共服务

- 联系专业公司对三号厅和主楼两个半导体洁净间的洁净服、洁净靴的定制和定期清理
- 半导体实验室和洁净间的**参观访问**
  - 多次接待外宾参观；高能所开放日；可能合作的公司
  - 多次接待高校学生：国科大、清华、北大、中科大等等
- 所内博士后开题和中期评审；协助外籍博士后准备材料
- 通过本科生科创项目宣传高能所，发掘合适的学生
- 国科大物理学院奖学金函评
- EPD seminar主持；台湾探测器研讨会新闻稿润色；
- LHCb合作组内部文章审稿

## AMS团队获奖





# 其它贡献

- 知乎「灯塔计划」科普视频： 25万播放量
- 23年1月~24年6月， 招聘ITk项目的兼职科研财务助理（会计专业硕士）， 24年6月转为探二组的全职科研财务秘书
- 试图吸引美国SMU大学芯片设计博士来所工作
- LHC Job Matching Event Fall 2024



知乎 有问题，就会有答案 [+ 关注](#)

**「灯塔计划」科学家对谈：中国算是科技强国了吗？不加班的年轻人没有未来？**

发布于 2024-03-15 11:01 · IP 属地北京 · 25.1 万次播放

# 存在问题、困难

- LHCb和CEPC的国际、国内合作交流有待加强
  - 2024年在所内的合作和交流已入正轨
  - 2025年将全面铺开工作
- 论文产出较少（绝大部分时间和精力集中在完成项目）
  - AMS项目预计将有2篇左右文章产出
  - HV-CMOS芯片预计1篇文章产出
- 招博士后和学生比较困难
  - 发展前景
  - 与高校合作，发挥咱们的优势
  - 多积累和学生打交道的方式方法

# 下年度工作计划

- LHCb + CEPC (70%)
  - 完善国产55nm HV-CMOS首版芯片测试结果；改善测试平台；下一版芯片的研发和性能测试
  - 为CEPC ref-TDR 内层径迹探测器硅像素方案提供内容；贡献设计方案；原理样机搭建
  - LHCb UT探测器研发和物理分析
- AMS L0 硅微条探测器ladder的生产\修理，束流测试 (15%)
  - 探测器平面集成过程中受损的探测器模块修理
  - 完成23~24年束流实验结果
  - 利用剩余的baby SSD搭建束流望远镜系统
- ATLAS ITk 硅微条探测器模块生产 (10%)
  - 协助完成预生产C阶段 (Pre-Production-C) 到正式生产所需的技术研发
- 自由探索 (5%)
  - 人工智能应用于探测器生产组装；新型探测器

# Backup

# 任务完成情况：AMS L0 硅微条

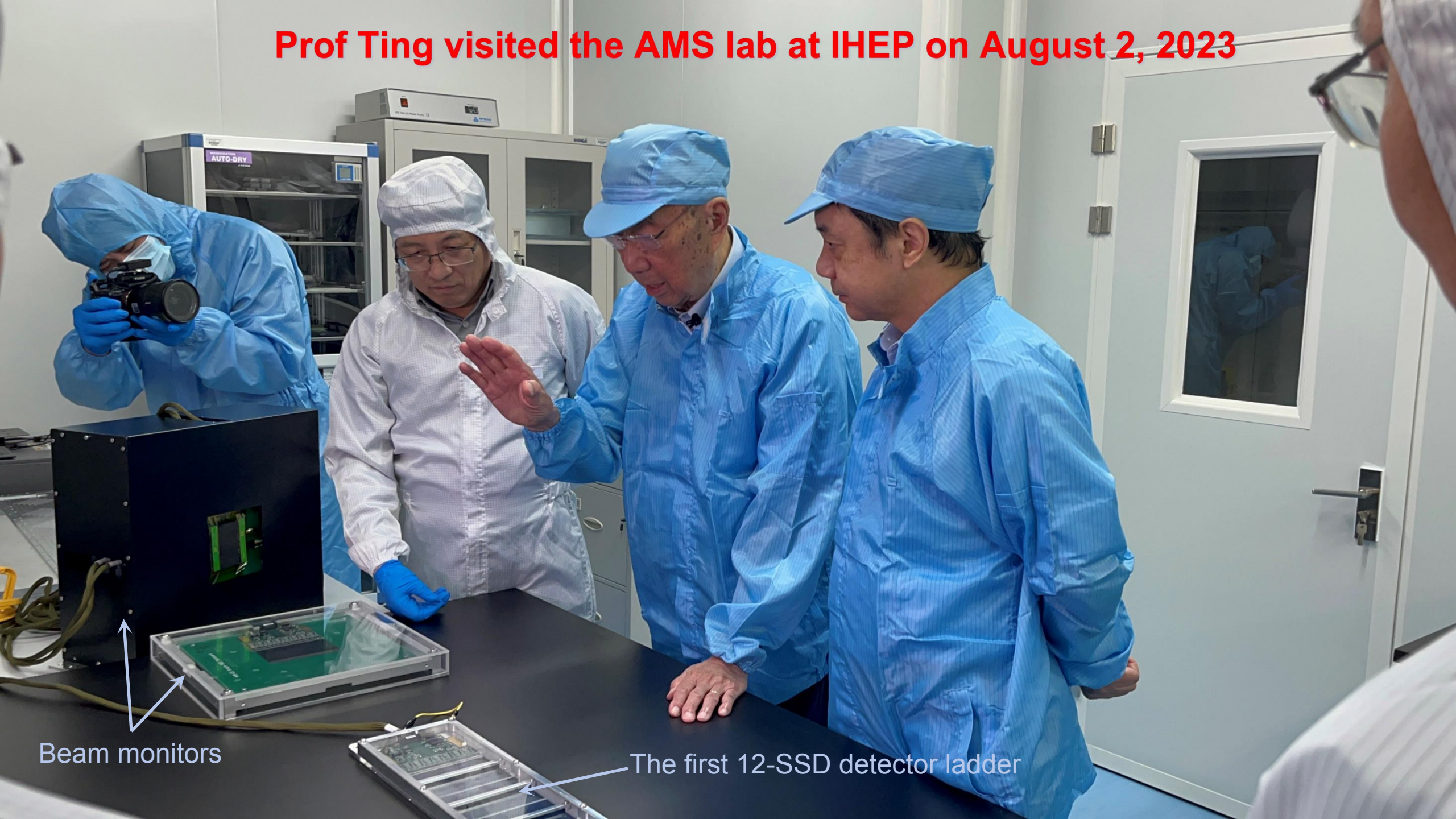
2022.07.09	Radiation study of the front-end readout chip IDE1140 at CIAE
2022.07.22	The 1 <sup>st</sup> prototype 10-SSD ladder was produced by Perugia+IHEP+SDIAT
2022.11.04	10 mechanical ladders were shipped to Terni
2023.05.16	The 1 <sup>st</sup> prototype 12-SSD ladder was produced at IHEP
2023.05.18-19	AMS technical interchange meeting at IHEP
2023.07.11-27	Testbeam at IHEP with low energy electron beam
2023.07.18	7 dummy ladders were shipped to Terni
2023.08.03	Prof Ting revisited the AMS L0 laboratory at IHEP
2023.08.17-23	Testbeam at CERN with proton and muon beams
2023.08.31	7 Qualification Model ladders were shipped to Terni
2023.10.24-30	Testbeam at CERN with ion beam
2023.12.07	5 dummy and mechanical ladders were shipped to Terni
2024.01.11-25	Testbeam at IHEP with low energy electron beam
2024.01.17	Start official production of the Flight Model detector ladders
2024.01.22	AMS technical interchange meeting at IHEP
2024.05.08-29	Testbeam at CERN with muon beam
2024.05.14	First 20 FM ladders shipped to Terni
2024.09.06	Finish production of all L0 detector FM ladders and spares

# 任务完成情况：ATLAS ITk 硅微条

- 高能所牵头负责中国组研制桶部面积 10% 的硅微条探测器模块：1000块
- 高能所站点通过全部29项探测器生产步骤国际评估， 2021年6月3日-2023年10月29日

Poi		Step Number	Qualification Step	Status	Ready for Review?	Object Swapped	Document Link	Video link	DB Entry	Review Status	Review End Date
Sensor Reception	TRUE	3.2	Sensor Storage	Qualification Ready	Yes	Not needed	<a href="#">Document</a>			Passed	finished: 2021-06-17
	TRUE	6.1	PB Reception	Qualification Ready	Yes	Not needed	<a href="#">Document</a>	<a href="#">Video</a>	<a href="#">Database</a>	Passed	finished: 2022-01-11
PB Reception	TRUE	6.2	PB E tests	Qualification Ready	Yes	Not needed	<a href="#">Document</a>		see links in docu	Passed	finished: 2022-07-14
	TRUE	6.3	PB Vis Insp	Qualification Ready	Yes	Not needed	<a href="#">Document</a>		<a href="#">Database</a>	Passed	finished: 2021-12-16
	TRUE	6.4	PB Storage	Qualification Ready	Yes	Not needed	<a href="#">Document</a>			Passed	finished: 2021-06-17
	TRUE	8.2	Storage + shipping of glue	Qualification Ready	Yes	Yes	<a href="#">Document</a>			Passed	finished: 2021-06-17
	TRUE	8.3	Assembling hybrids	Qualification Ready	Yes	Yes	<a href="#">Document</a>	<a href="#">Video</a>	<a href="#">Database</a>	Passed	finished: 2021-11-20
	TRUE	8.4	Glue weight measurements	Qualification Ready	Yes	Yes	<a href="#">Document</a>	<a href="#">Video</a>	<a href="#">Database</a>	Passed	finished: 2021-11-21
	TRUE	8.5	Bonding procedures: hybrids	Qualification Ready	Yes	Yes	<a href="#">Document</a>			Passed	finished: 2022-05-31
	TRUE	8.6	Metrology: hybrids	Qualification Ready	Yes	Yes	<a href="#">Document</a>			Passed	finished: 2023-03-07
	TRUE	8.7	Visual inspection: hybrids	Qualification Ready	Yes	Not needed	<a href="#">Document</a>			Passed	finished: 2021-08-06
	TRUE	8.8	Hybrid Burn-In	Qualification Ready	Yes	Not needed	<a href="#">Document</a>			Passed	finished: 2023-05-25
Module Assembly/Testing	TRUE	8.10	Hybrid Storage	Qualification Ready	Yes	Not needed	<a href="#">Document</a>			Passed	finished: 2021-06-17
	TRUE	8.11	hybrid QC: single panel testing	Qualification Ready	Yes	Not needed	<a href="#">Document</a>			Passed	finished: 2022-08-25
	TRUE	11.1	Storage of modules	Qualification Ready	Yes	Not needed	<a href="#">Document</a>			Passed	finished: 2021-06-17
	TRUE	11.2	Cleaning module jigs	Qualification Ready	Yes	Not needed	<a href="#">Document</a>			Passed	finished: 2021-06-16
	TRUE	11.4	Storage + shipping of glue	Qualification Ready	Yes	No	<a href="#">Document</a>			Passed	finished: 2021-11-29
	TRUE	11.5	Removing hybrids from panel	Qualification Ready	Yes	Not needed	<a href="#">Document</a>	<a href="#">Video</a>	<a href="#">Database</a>	Passed	finished: 2021-12-09?
	TRUE	11.6	Module Assembly	Qualification Ready	Yes	Not needed	<a href="#">Document</a>	<a href="#">Video</a>	DB1, DB2, DB3	Passed	finished: 2022-02-25
	TRUE	11.7	Metrology: modules	Qualification Ready	Yes	Not needed	<a href="#">Document</a>			Passed	finished: 2023-07-10
	TRUE	11.8	Bonding procedures: modules	Qualification Ready	Yes	Not needed	<a href="#">Document</a>			Passed	finished: 2022-05-25
	TRUE	11.9	Visual inspection: modules	Qualification Ready	Yes	Not needed	<a href="#">Document</a>		<a href="#">Link</a>	Passed	finished: 2021-07-19
Module Shipping	TRUE	11.10	Module Thermal Cycling	Qualification Ready	Yes	Not needed	<a href="#">Document</a>			Passed	finished: 2023-10-29
	TRUE	11.11	Single Module Electrical Test	Qualification Ready	Yes	Not needed	<a href="#">Document</a>			Passed	finished: 2022-10-23
General	TRUE	12.1	Shipping modules	Qualification Ready	Yes	Not needed	<a href="#">Document</a>	<a href="#">Video1, Video2</a>	<a href="#">Link</a>	Passed	finished: 2022-04-25
	TRUE	13.1	Cleanroom standards	Qualification Ready	Yes	Not needed	<a href="#">Document</a>			Passed	finished: 2021-11-25
	TRUE	13.2	ASIC Compliance & Handling	Qualification Ready	Yes	Not needed	<a href="#">Letter</a>			Passed	finished: 2021-06-03
Module Reception	TRUE	13.3	Bond Pulling Procedures	Qualification Ready	Yes	Not needed	<a href="#">Document</a>		<a href="#">Database</a>	Passed	finished: 2021-12-03
	TRUE	14.1	Module Reception	Qualification Ready	Yes	Not needed	<a href="#">Document</a>	<a href="#">Video</a>		Passed	finished: 2022-01-25
				Completed Steps	29				Passed Steps	29	
Steps that Are Ready				29	29				Total Steps	29	
				Completed (%)	100.00%				Passed (%)	100.00%	

**Prof Ting visited the AMS lab at IHEP on August 2, 2023**



Beam monitors

The first 12-SSD detector ladder

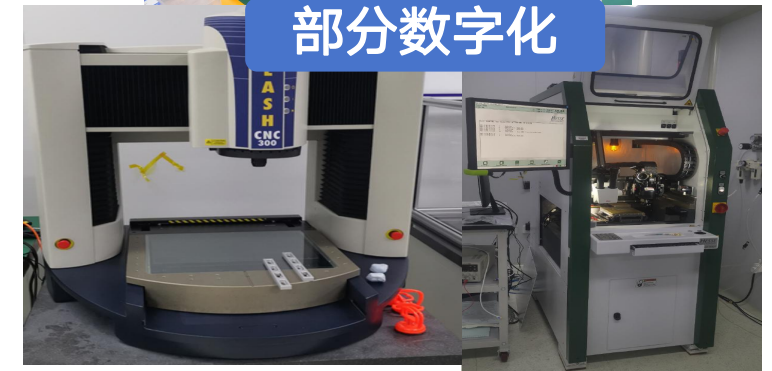
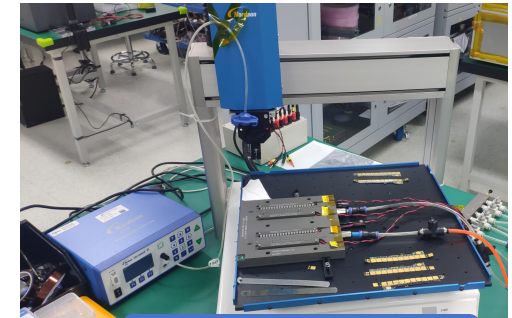
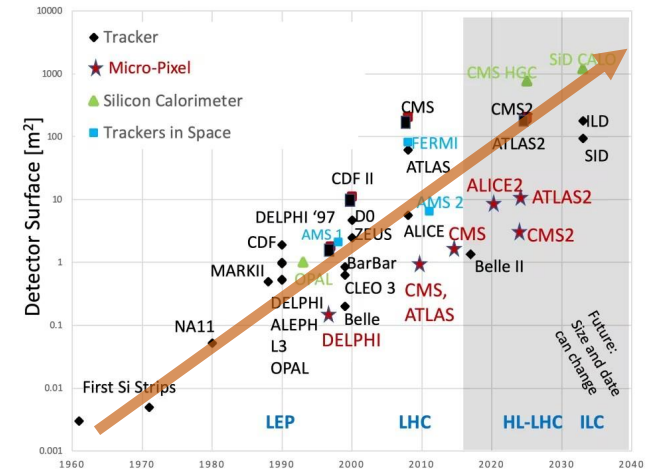
# 基于AI的自动化组装

- 更大的探测器面积需求

- 未来探测器对生产速度有更高需求

- 探测器模块的大规模生产

- 生产流程: 高精度前提下的标准化 → 自动、智能化
- 人力成本: 组装 ~  $O(1)$  人×天 / 模块  
测试 ~  $O(1)$  人×天 / 模块
- 产线自动化 + 扩大规模 vs. 增加人力规模





# 智能化视觉检测

## • 组装流程

- 自动化组装中的应用
- 零件、模块的自动识别出入库

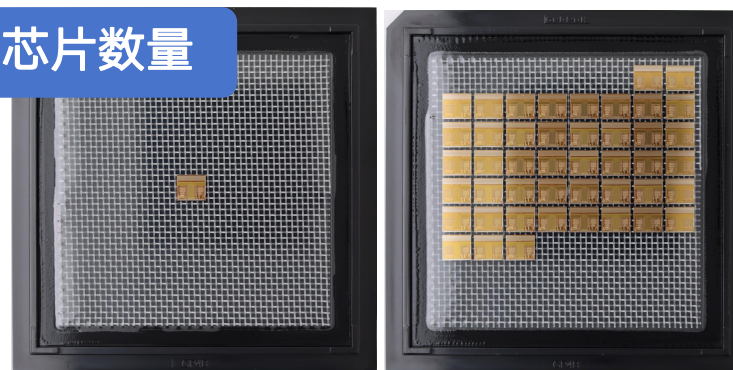
## • 质量控制

- 自动测量与记录数据图像
- 自动化分析与预警

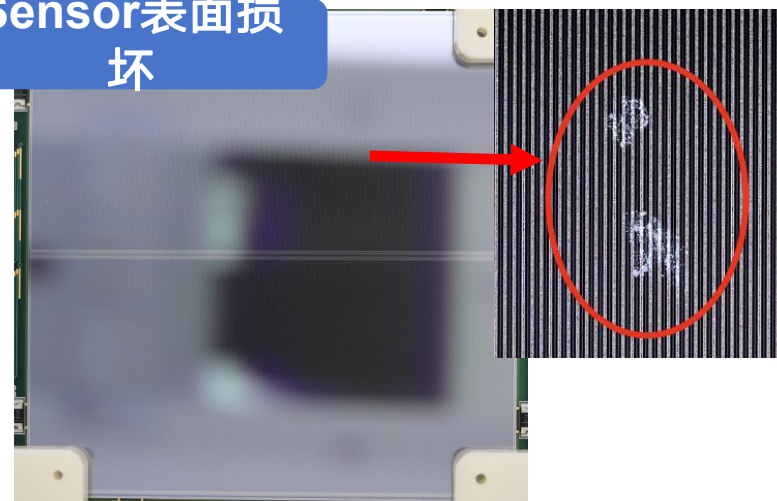
## • 采用开源模型 (YOLO 11)

- 已归纳训练样本  $O(\sim 50)$ : ITk — ABCStar vs HCCStar

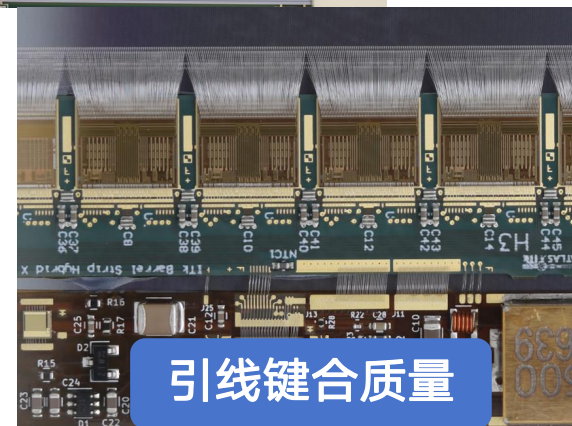
芯片数量



Sensor表面损坏



引线键合质量



# 自动化组装

- 关节机械臂

- 优势：高精度、占地小、容易重复部署
- 目标精度：水平  $O(100\text{ }\mu\text{m})$ , 垂直  $O(20\text{ }\mu\text{m})$
- 负载需求小，无俯仰滚转需求
- 与现有的数控设备结合使用

- 视觉识别定位

- 广角 + 微距镜头组合
- 物料识别、位置追踪
- 电路、芯片靶标识别

