

# ATLAS 实验硅微条径迹探测器升级

史欣

中国科学院高能物理研究所



中国科学院高能物理研究所



清华大学

2019年7月1-2日

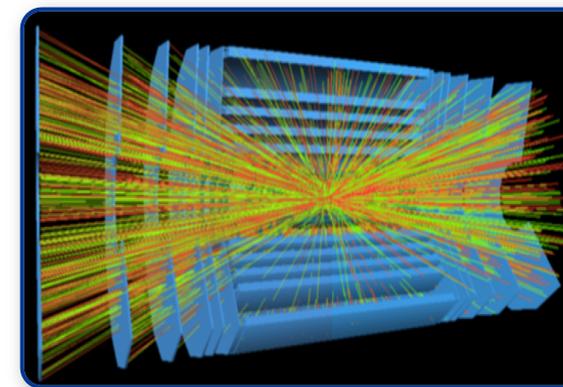
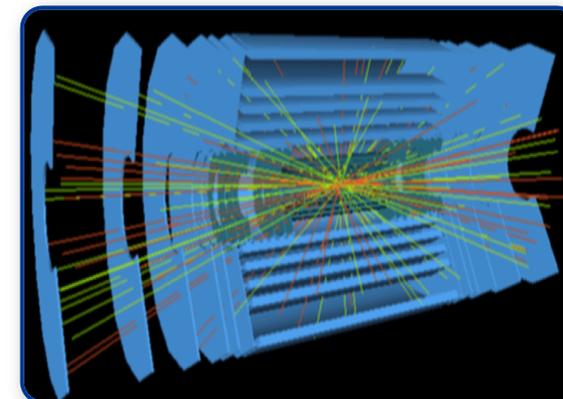
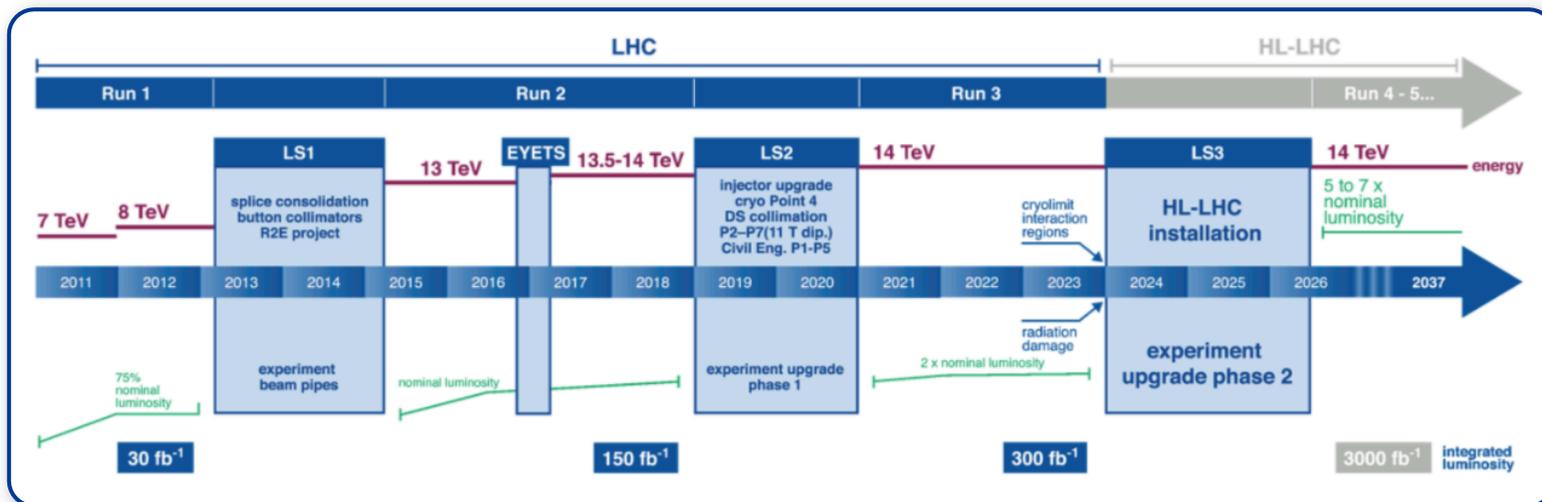
LHC 探测器升级研讨会

山东·青岛

# 报告提纲

- 项目介绍
- 研究进展
- 工作安排

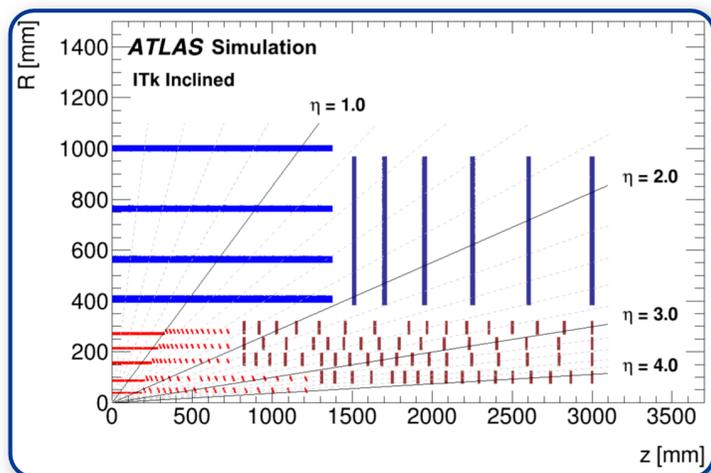
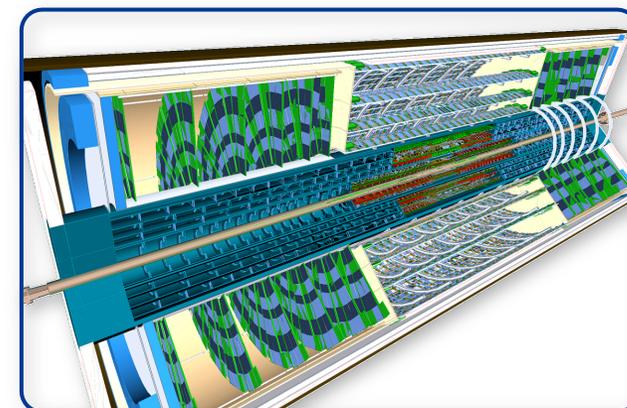
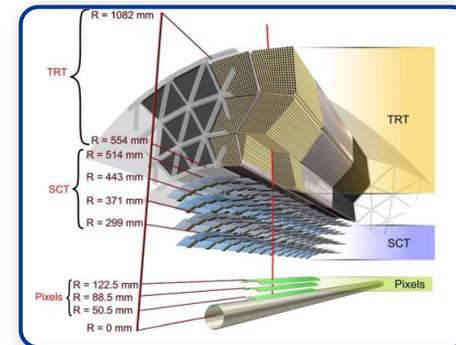
# 大型强子对撞机高亮度升级 (HL-LHC)



- 计划提高10倍积分亮度，~2026年完成
- 瞬时亮度高达  $7.5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- 每次对撞堆积事例数高达200

# ATLAS 内径迹探测器升级

- 升级后的内径迹系统全部由硅探测器构成
- 磁场2T，长约6米，半径约1米
- 顶点探测器包括5层桶部和若干层端盖
- 硅微条探测器包括4层桶部和6层(x2)端盖
  - 约18000 个模块
  - 约6千万道读出
  - 硅微条覆盖面积165m<sup>2</sup>
  - 由16个不同的资助机构的50个单位共同承担
  - 高能所/清华 承担 1000 个模块制造 (10m<sup>2</sup> 硅探测器)



Strip detector comparisons	Current Inner strip tracker (SCT)	Future ITK strip tracker
Radial distance	300-560mm	400-1000mm
Channels	~8 millions	~100 millions
Modules	4 thousands	~20 thousands (165m <sup>2</sup> silicon)

# 任务与进度安排

- 课题一：前端读出电子学设计
- 课题二：硅微条探测器模块设计和建造
- 课题三：CMOS 探测器性能研究

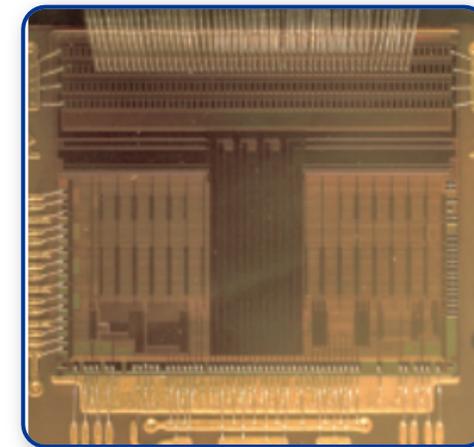
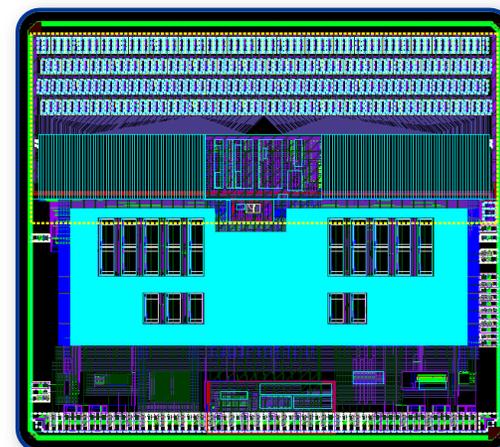
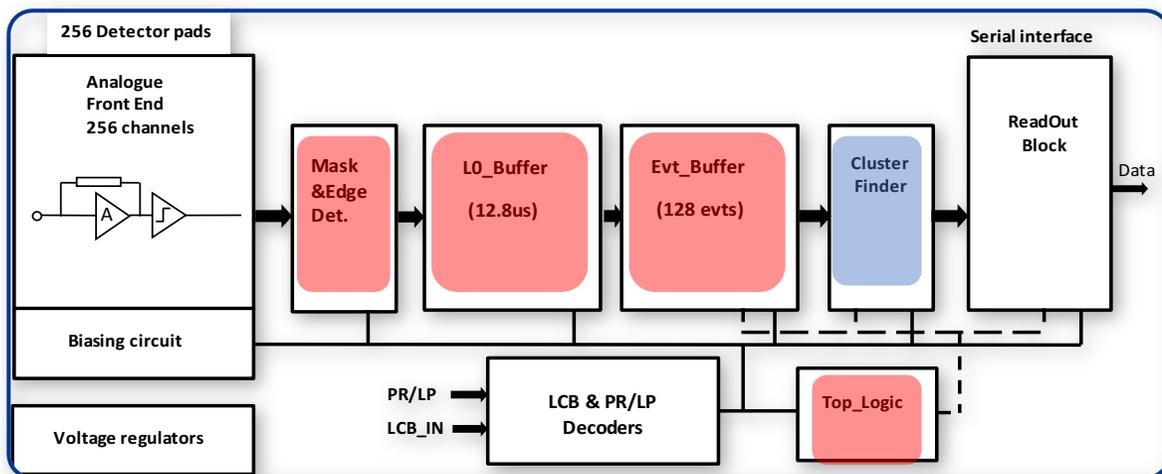
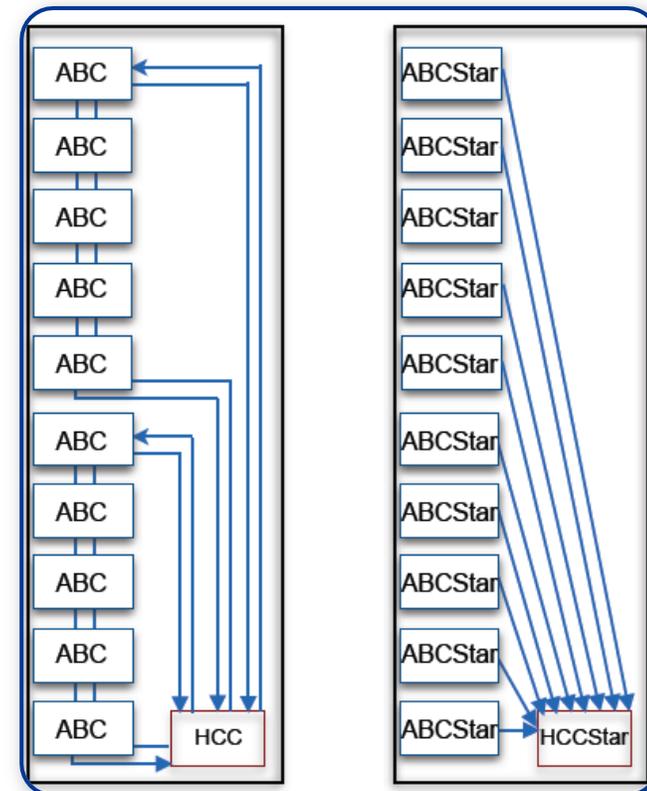


# 课题一：前端读出电子学设计

- 由于ATLAS径迹探测器硬件触发率提升，前端读出电子学ASIC芯片需要重新设计适应全新的STAR数据流架构 – ABC-STAR 芯片
- 高能所参与ASIC芯片数字部分设计工作，实现与后端模块控制芯片（HCC-STAR）的高速数据传输
- 数字逻辑包括输入寄存、指令流水线、触发缓存、击中簇团寻找和信号输出等复杂功能模块，实现探测器“击中”信息输出。
- 设计上满足上、下行高速带宽匹配、短延时、抑制强辐射环境下的“单粒子”等效效应。

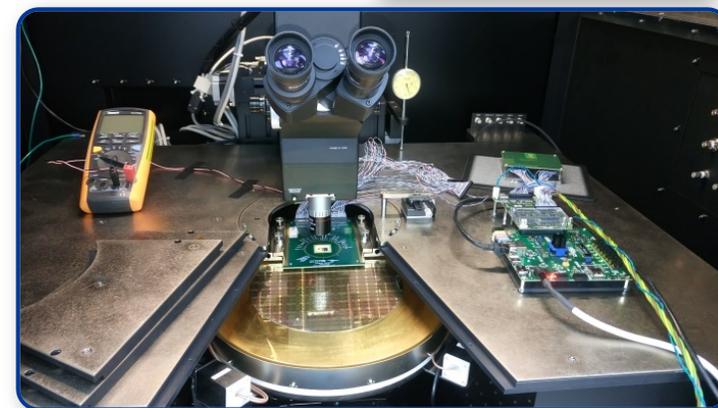
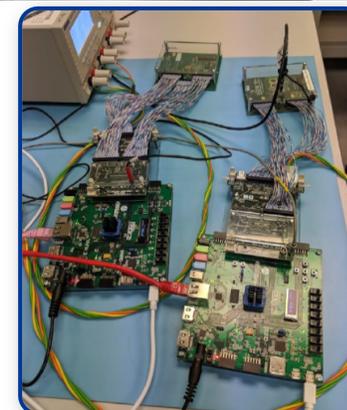
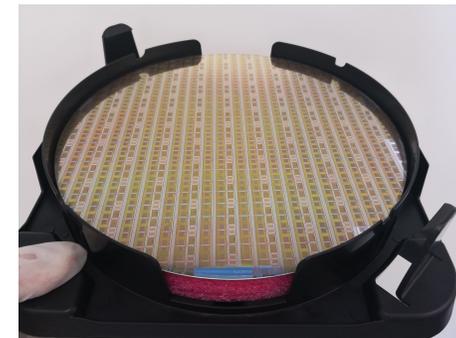
■ 参与设计和验证

■ 参与验证工作



# 读出电子学ABC-STAR测试进展

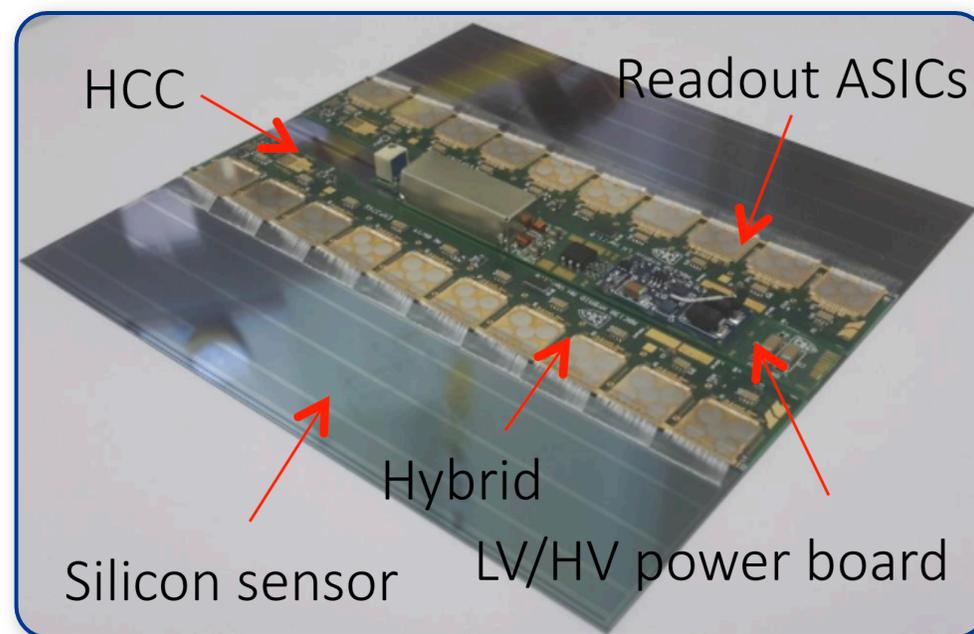
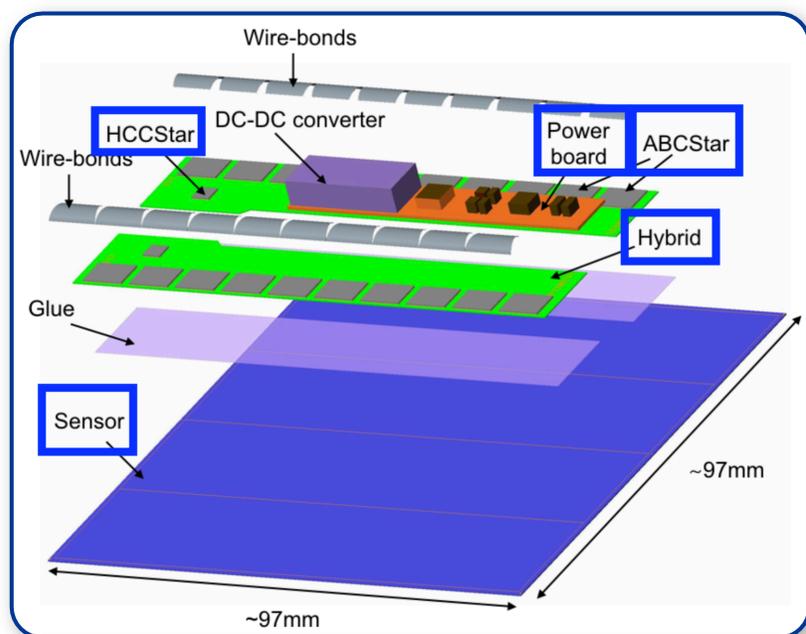
- ABC-STAR原型流片 2018年提交
- Hybrid/模块成功用于束流测试
- 单芯片测试 (SCB+FMC board+NV board)
- 晶圆探测 (10片@RAL, 成品率 > 90%)
- 辐照测试最终确认
  - 总辐射剂量测试 (TID)
    - 快速总剂量测试 (0.8Mrad/h) 室温@RAL
    - 慢速总剂量测试 (1.2krad/h) -10C @BNL
  - 单粒子效应测试 (SEE)
    - 质子束 @ TRIUMF
    - 重离子束 @ Louvain (八月底)
- 终期设计评估 (7月15-16日)
- 生产定型流片8月底提交



2019 课题任务目标基本完成：前端电子学ASIC芯片最终设计、联调

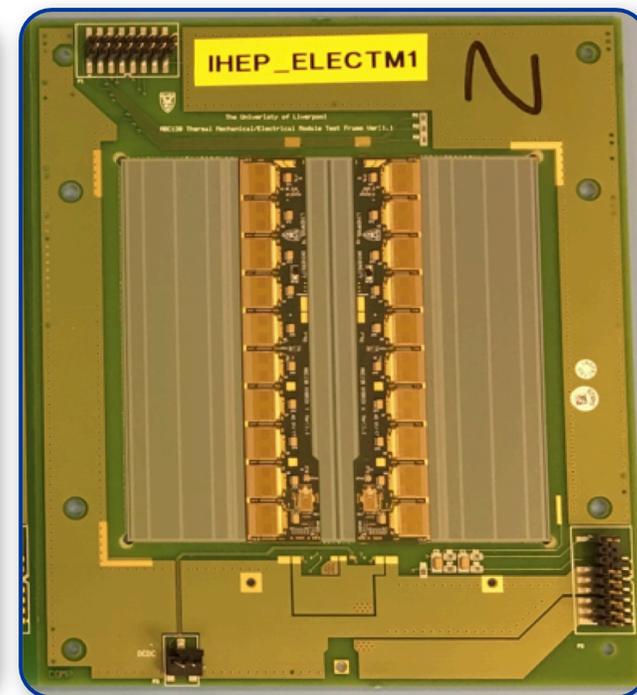
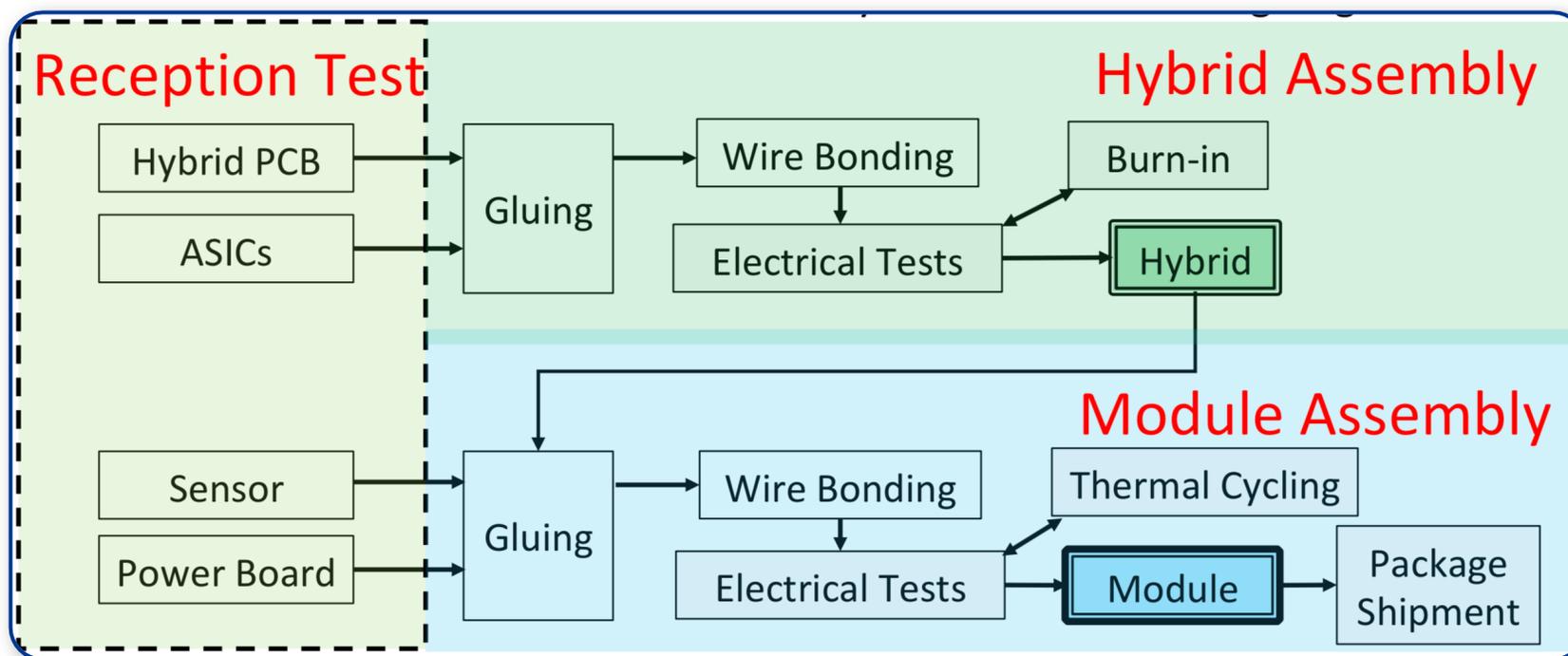
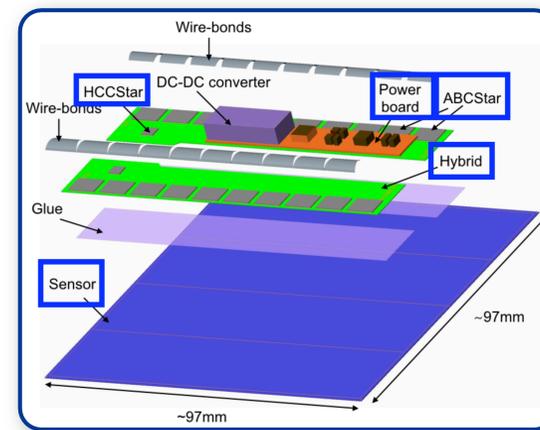
## 课题二：探测器模块建造与测试

- 与英国卢瑟福实验室（RAL）合作，开展硅微条探测器模块原型机的设计和建造
- 总共承担1000个模块的建造与测试任务，500@RAL, 500@IHEP
- 改进工作夹具以提高组分部件的定位精度，改进工艺流程使之更适合批量生产
- 通过实验室放射源及试验线束测试标定探测器模块性能



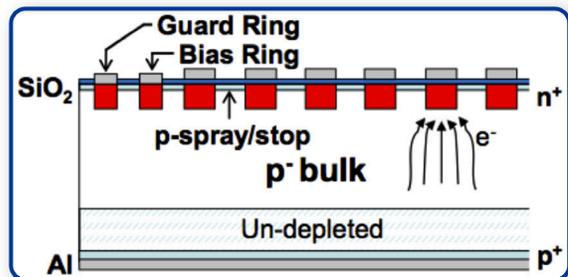
# 模块原型

- 保持两个人员在英国参与模块建造，熟悉流程
- 持续推动建设国内实验室，开展预生产工作
- 详细严格的QA/QC 步骤，以实现高质量模块制作

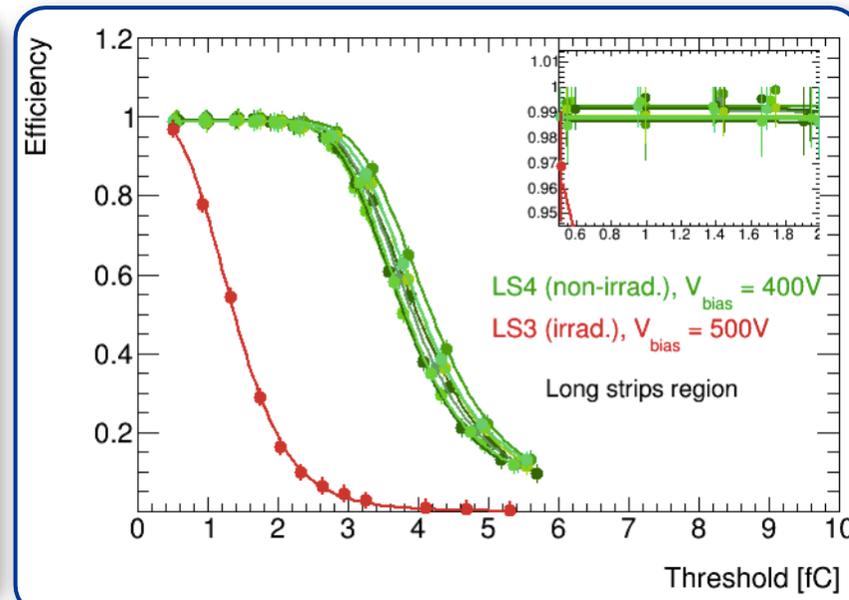
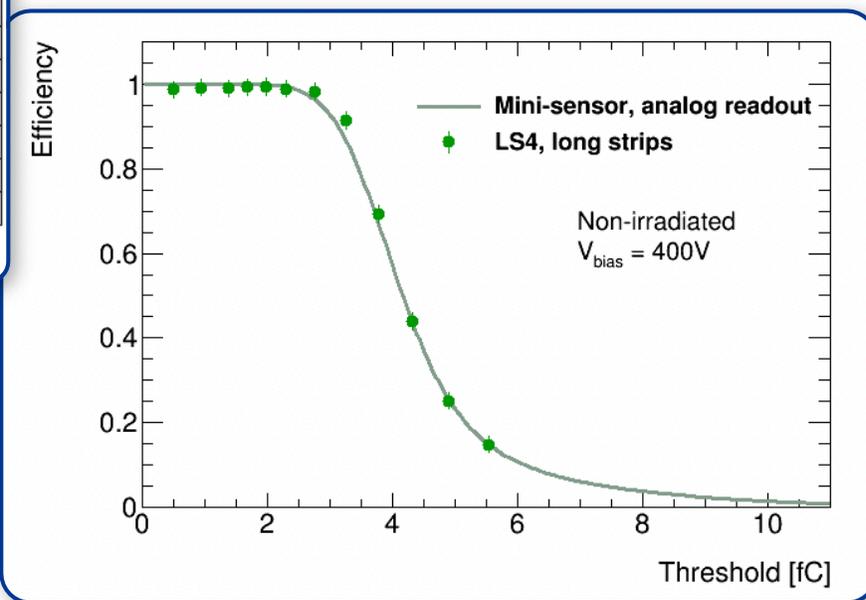
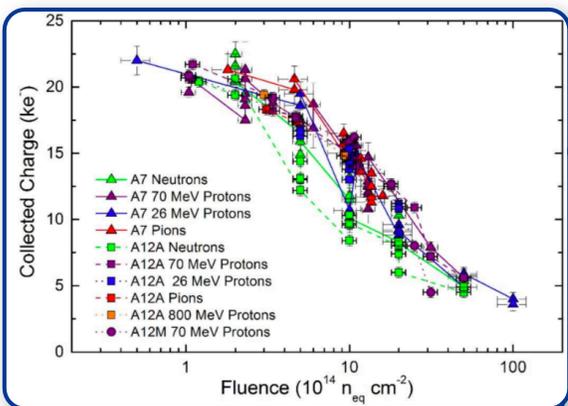


# 测试结果I (电学、束流测试)

束流测试@DESY

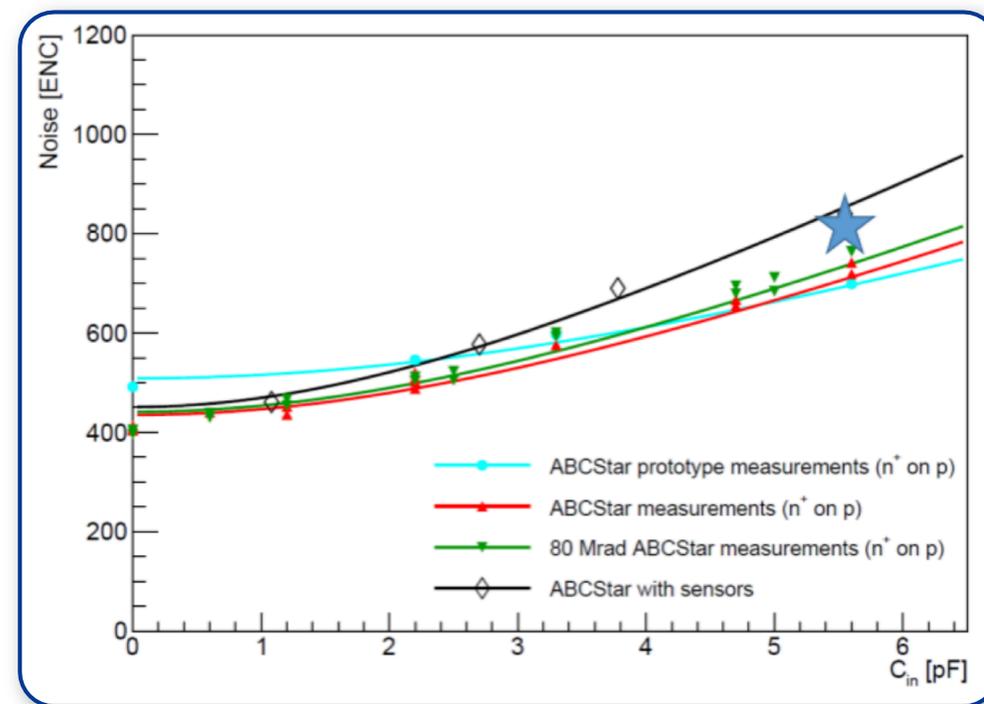
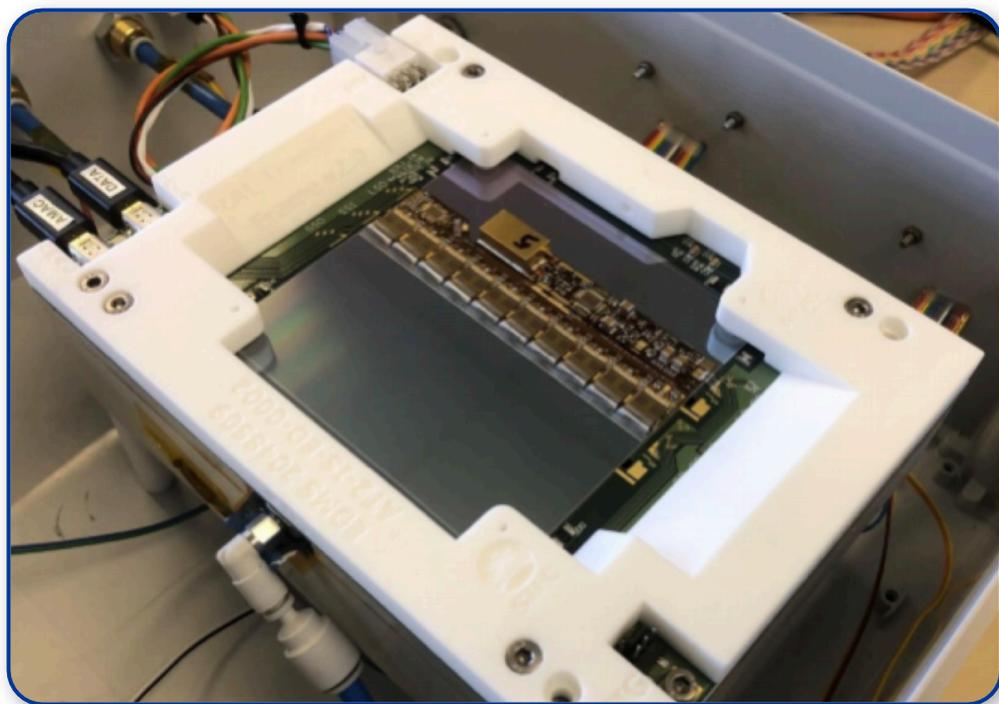


- 参与束流测试、数据分析
- 陈列建、艾晓聪、刘义、Emma、刘晶译



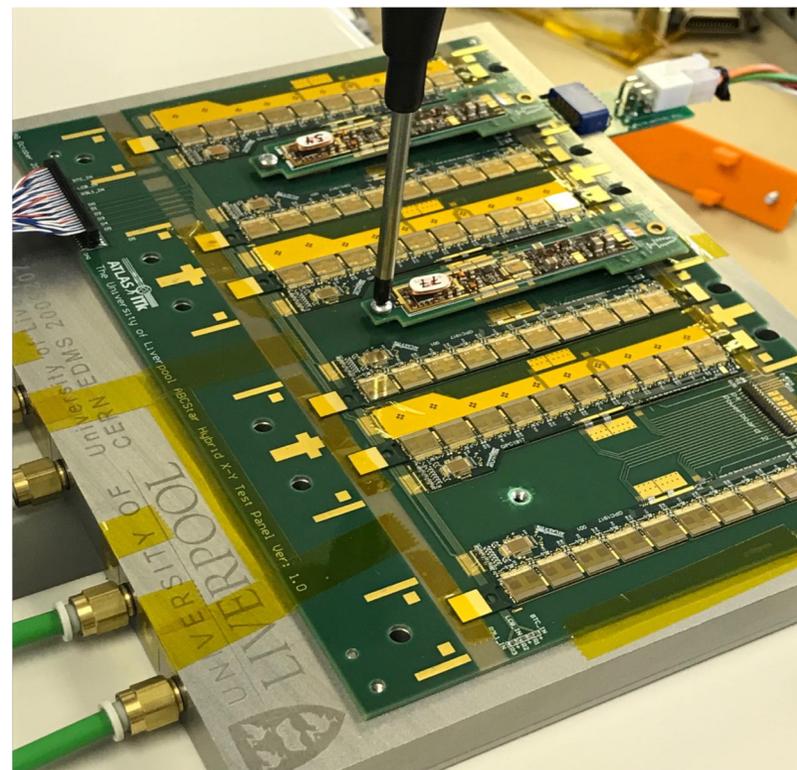
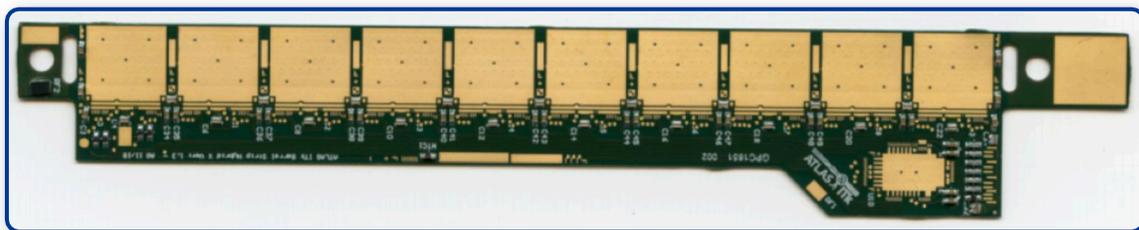
# ABCSTAR 模块原型

- 首款基于ABCSTAR的模块原型工作正常
- 表明我方参与设计的ABCSTAR芯片工作正常
- 模块参数测试结果与单芯片测试结果一致



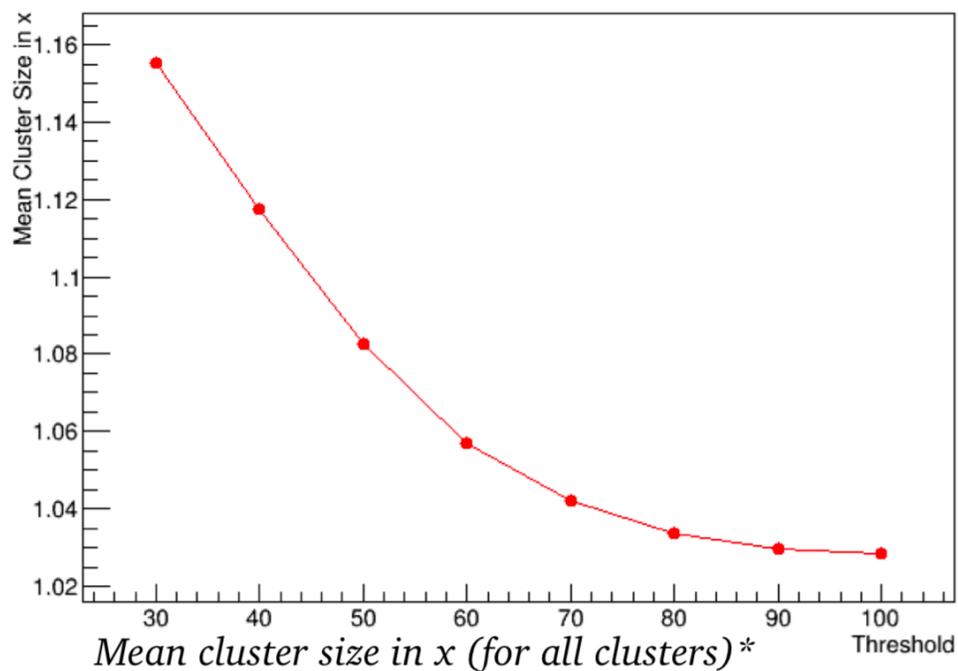
# ABCSTAR 模块原型

- 按照合作组项目计划向STAR模块过渡，准备明年年初开始的预生产
- 与RAL同事完成的首个STAR Hybrid Panel



# 测试进展 (模块束流测试)

- 平均簇团尺寸随阈值增大而减小

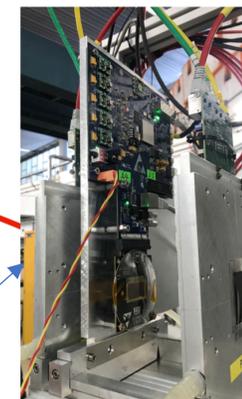


## The Telescope

The DURANTA Telescope



- 6 MIMOSA26 sensors
- Pixel pitch  $18.4\mu\text{m}$
- Thickness  $50\mu\text{m}$
- Binary readout
- Pointing Resolution  $\sim 2\mu\text{m}$



An additional pixel layer is installed at the back of the telescope to improve timing and allow individual tracks to be matched to hits on the DUT

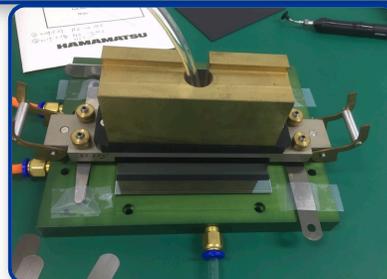
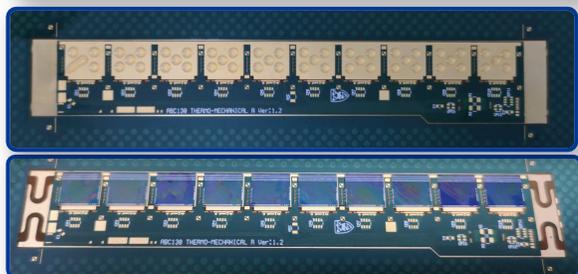
Pixel pitch  $50\times 250\mu\text{m}$

科大设计的ALPIDE 读出板成功用于束流测试

课题二：积极准备明年年初开始硅微条探测器模块预生产

# 洁净间状态

- 80平米万级洁净间与4月份验收投入使用
- 已制作机械级别的模块部件（详见张登峰、杨玉真报告）



# 芯片禁运问题

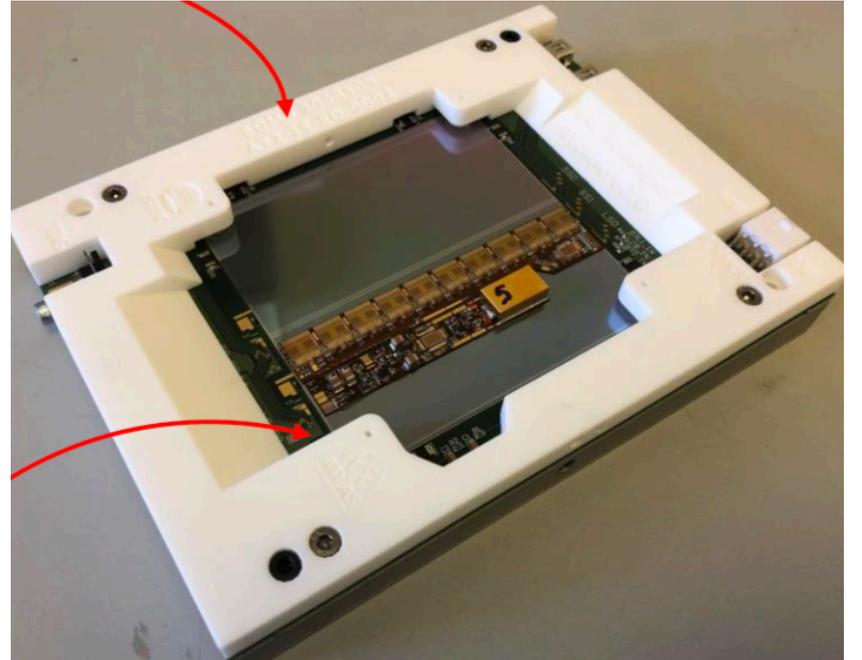
- 在CERN 与 美国商务部和瑞士政府出口许可协议下，基于 GlobalFoundries (GF)工艺的 ABC/HCC130 芯片，已经到达北京。
- 包括其他禁运芯片以及延长许可的相关程序还在进行中。

## Goods description \*

Item	Quantity	Description	Unit Price	Price
1	57 Piece	<b>ABC 130 chips</b> Strip sensor readout chips produced by US company Global Foundries in their CMOS8RF technology. The use of these chips is for scientific research in particle physics experiments. Country : <b>UNITED STATES OF AMERICA (US)</b>	CHF 5.00	CHF 285.00
2	6 Piece	<b>HCC 130 chips</b> Hybrid control chips produced by US company Global Foundries in their CMOS8RF technology. The use of these chips is for scientific research in particle physics experiments. Country : <b>UNITED STATES OF AMERICA (US)</b>	CHF 5.00	CHF 30.00
3	1 Piece	<b>Hybrid</b> One sample hybrid with 10 ABC 130 and 1 HCC glued and wire-bonded to hybrid PCB. The use of this device is for scientific research in particle physics experiments. Country : <b>UNITED KINGDOM (GB)</b>	CHF 100.00	CHF 100.00

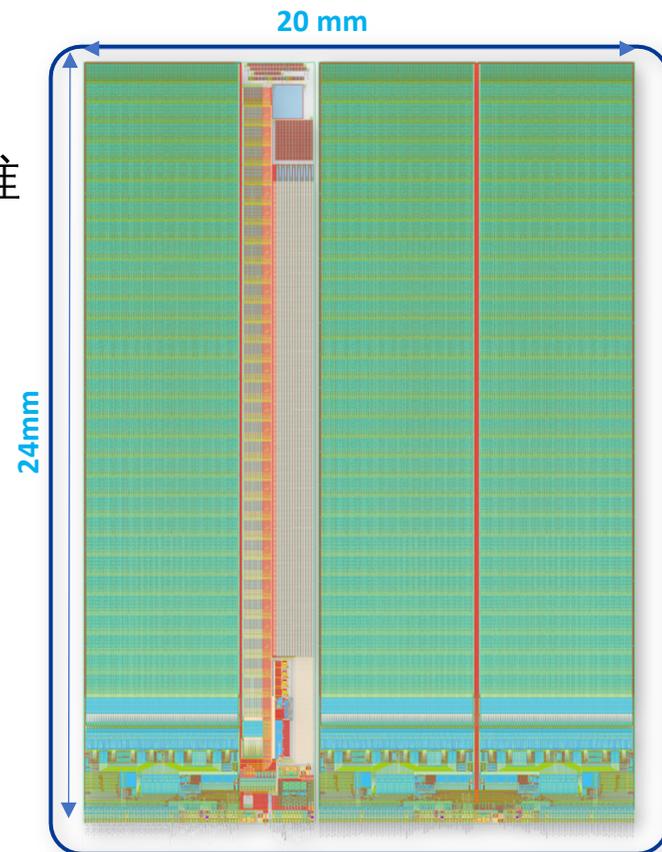
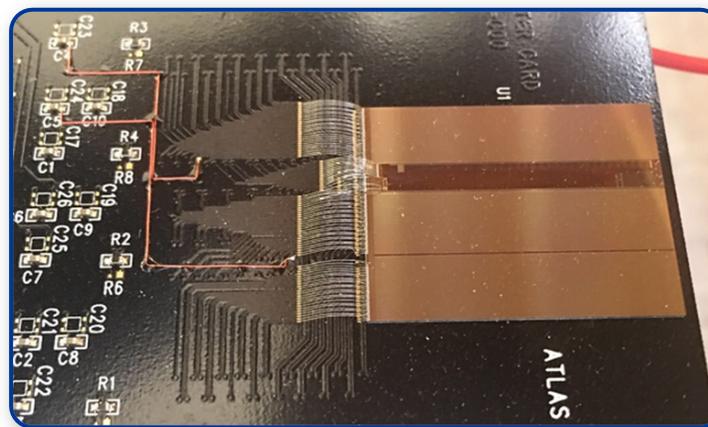
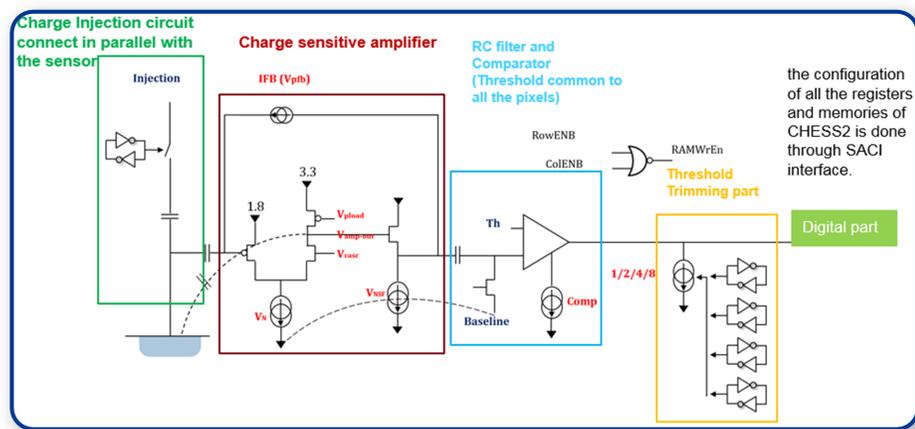
# 辅助器件（无源器件等）

- Dummy Patterned STAR 芯片用于绑定测试等研究
  - 8 ABC + 2 ABC & HCC for US barrel and endcap
  - 2 plain silicon wafers + one additional ABC wafer for our own training
- Transport frames
  - Manufactured by the injection moulding company
  - 100 frames + cover glasses to US; 400 frames + cover glasses shared between UK and China



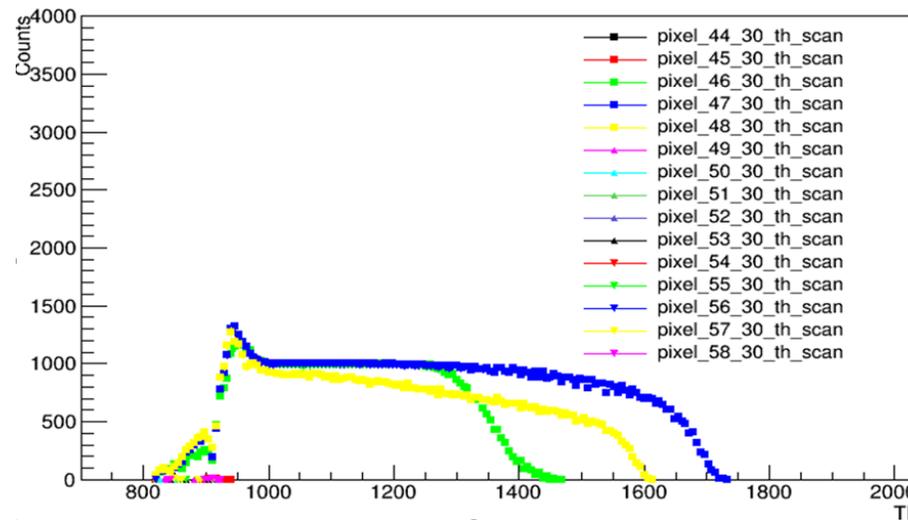
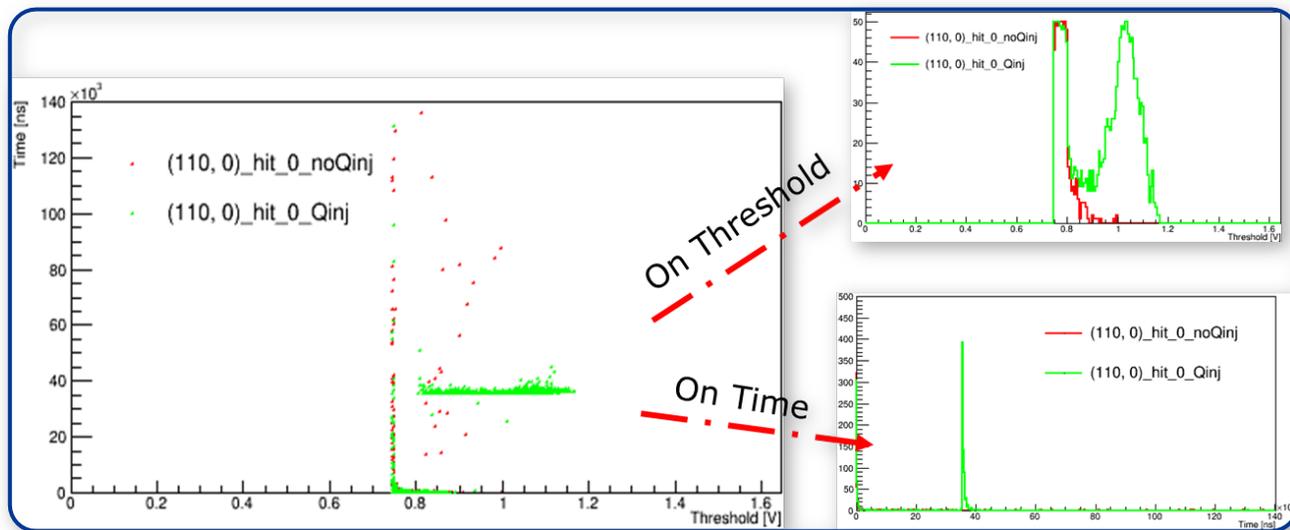
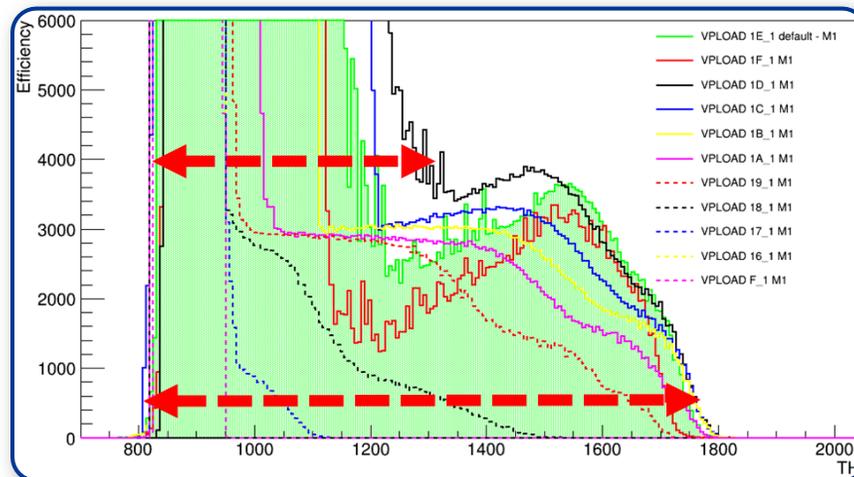
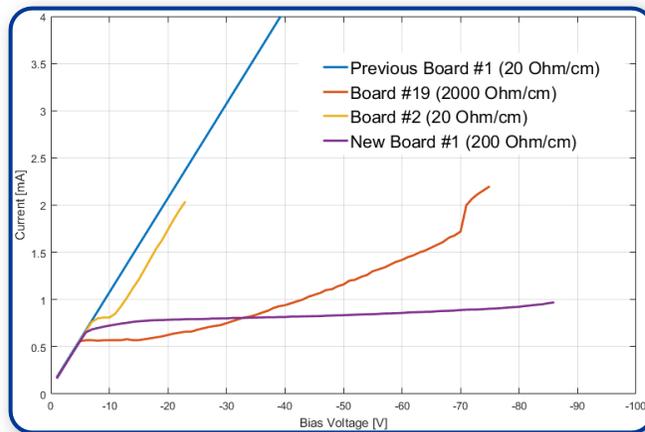
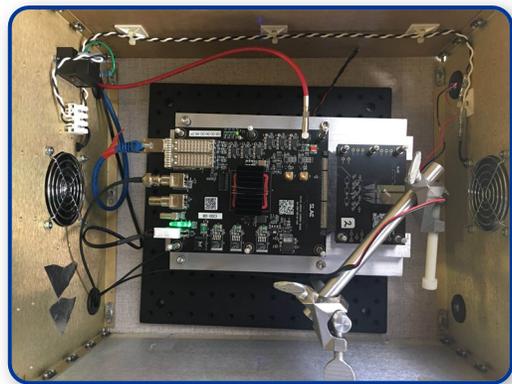
# 课题三：CMOS硅微条探测器性能测试

- 基于先期研制的CMOS硅微条传感器，开展主要性能测试（电荷收集效率、噪声水平、空间分辨率等）
- 测试结果用于改进传感器设计，并为集成的读出电子学设计提供参考基准
- 基于FPGA开发CMOS硅微条传感器的数字读出芯片，构建原理样机
- 通过实验室放射源和试验线束完成性能标定



与SLAC/UCSC 合作

# 测试进展 (CHESS2- CMOS HV/HR Evaluation for Strip Sensors)



- 课题三：性能测试基本完成，探测器模块下半年抵达国内，完成后续测试

# 文章发表、会议报告

- Z. Liang, Construction of the new silicon microstrips tracker for the Phase-II ATLAS detector, NIM, A924 (2019) 265-269
- B. Hiti, et. al., Charge collection in irradiated HV-CMOS detectors, NIM, A 924 (2019) 214-218
- W. Lu, et. al., Development of the ABCStar front-end chip for the ATLAS silicon strip upgrade, JINST 12 (2017) no.04, C04017
- Z. Liang, et. al., Study of built-in amplifier performance on HV-CMOS sensor for the ATLAS phase-II strip tracker upgrade, NIM, A 831 (2016) 156-160

## 国际会议

- X. Shi, ATLAS strip tracker, The 2018 International Workshop on the High Energy Circular Electron Positron Collider, Beijing, China. November 2018
- Z. Liang, Construction of the new silicon microstrips tracker for the Phase-II ATLAS detector , 11<sup>th</sup> International “Hiroshima” Symposium on the Development and Application of Semiconductor Tracking Detectors (HSTD11), OIST, Okinawa, Japan. December 2017
- W. Lu, Development of the ABCStar front-end chip for the ATLAS Silicon Strip Upgrade, TWEPP 2016 – Topical Workshop on Electronics for Particle Physics, KIT, September 2016.

## 国内会议

- 陆卫国, 硅微条径迹探测器读出ASIC的设计和验证进展, 核探测与核电子学国家重点实验室2018年年会
- 李一鸣, 基于硅微条的ATLAS径迹探测器升级, 第十九届全国核电子学与核探测技术学术年会, 2018
- 朱宏博, ATLAS 硅探测器研究进展, 半导体辐射探测器研讨会, 2017
- 陆卫国, ATLAS ABCStar 芯片设计进展, 半导体辐射探测器研讨会, 2017
- 史欣, ATLAS ITk Strip Module production, CLHCP 2017

# 人才队伍

- 研究员/教授 (8人)



姜辛丑



Joao da Costa



朱宏博



陆卫国

- 博士后 (7人)  
(Emma、Jason、  
艾小聪、刘凯、刘义、  
杨玉真、张登峰)



史欣



梁志均



李一鸣



陈新

- 博士生 (3人)  
(Matt, 陈列建, 韩雨亭)

# 经费使用情况

科目	万元
一、课题支出合计	511.66
（一）直接费用	364.06
1. 设备费	38.4
（1）购置设备费	38.4
（2）试制设备费	
（3）设备改造与租赁费	
2. 材料费	41.04
3. 测试化验加工费	10.49
4. 燃料动力费	
5. 会议/差旅/国际合作交流费	183.06
6. 出版/文献/信息传播/知识产权事务费	0.8
7. 劳务费	41.01
8. 专家咨询费	
9. 其他支出	49.26
（二）间接费用	147.6

# 工作安排

- ATLAS 合作组进展安排

	2019					2020								2021									
	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr
Sensor										PRR	X	X	X										
ASICs	X	X	FDR										X	X	PRR								
Modules	X	X	FDR													X	PRR						
Bus tapes	X	X	FDR										X	X	PRR								
EoS				X	X	X	FDR						X	X	PRR								
Eos/DC-DC				X	X	X	FDR						X	X	PRR								
Local Supports					FDR										X	X	PRR						
LS Module Loading					X	X	X	FDR										X	PRR				
Global Mechanics				X	X	PRR																	
Services										X	X	X	FDR										
<b>System Test</b>													X	X	FDR								

- 项目进展安排：2020年Q1/Q2 准备预生产
  - 保持与RAL合作关系：收尾STAR模块预研，明年年初准时进入预生产
  - IHEP：收尾130模块预研，根据芯片到位情况，尽快过渡到STAR模块制作与RAL同期或略晚进入预生产，明年年中申请生产点评估

# 总结

- ATLAS 硅微条径迹探测器升级项目进展顺利，基本完成2019年课题目标
  - 课题一：前端读出电子学设计 - 前端电子学ASIC芯片最终设计、联调
  - 课题二：硅微条探测器模块设计和建造 - 准备明年年初开始模块预生产
  - 课题三：CMOS 探测器性能研究 - 性能测试基本完成
- 按计划推进三个子课题，明年年中申请生产点评估

# 补充材料

# 测试结果II (ABC130 总辐照剂量)

- 工作电流数字部分在总辐照剂量约1 MRad 附近达到峰值, 随后降低至正常水平
- 已在探测器相应的辐照部位进行了冷却和功耗的调整

