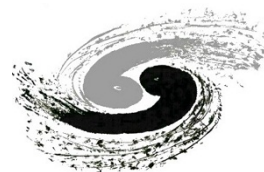


基于硅微条的 ATLAS 径迹探测器升级

李一鸣

(中科院高能物理研究所)

代表高能所/清华 ITk 合作组



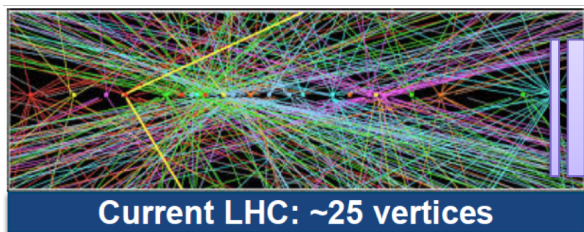
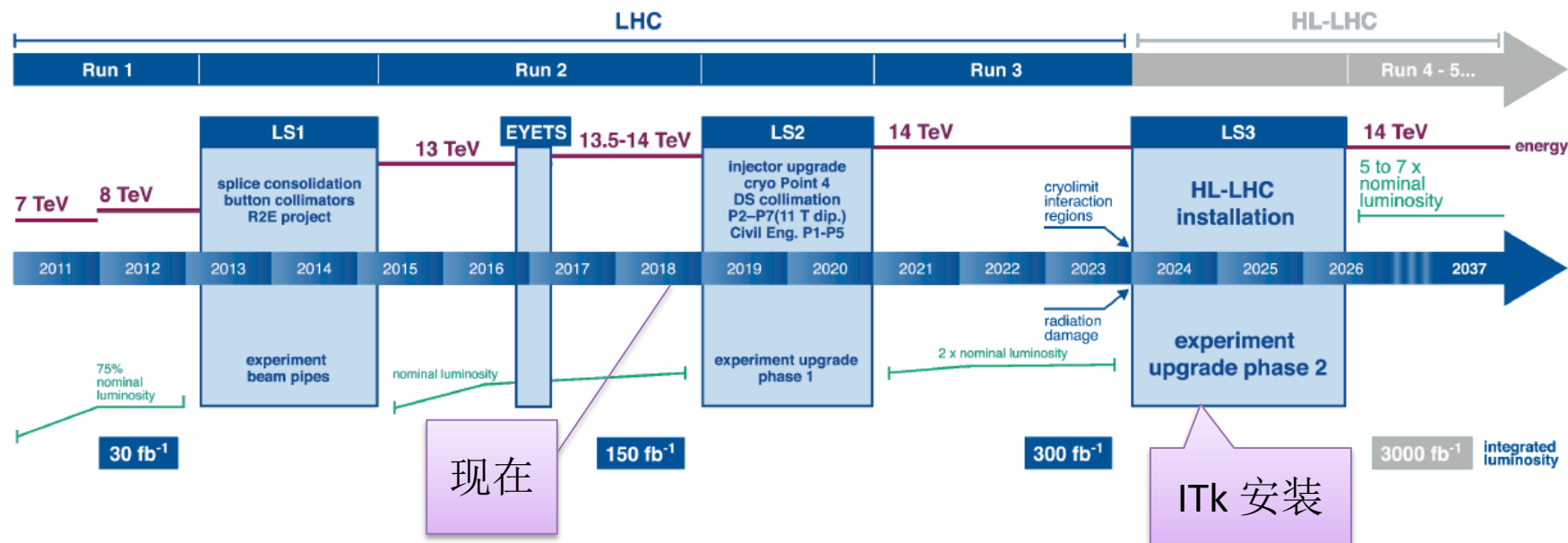
核电子学与核探测年会 @ 衡阳, 2018.10.16

内容概要

- ATLAS ITk-strip 项目概览
- 高能所/清华参与工作
 - 前端读出ASIC设计
 - 桶部模块组装
 - CMOS 研发

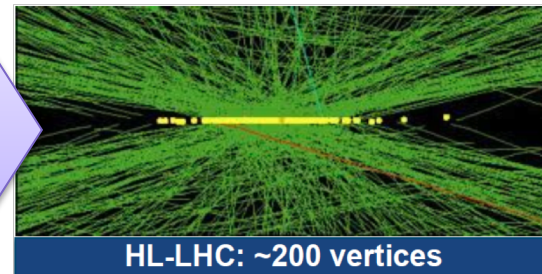
LHC 高亮度升级

■ 2024 ~ 2026 : 大型强子对撞机将进行高亮度升级 LHC → HL-LHC

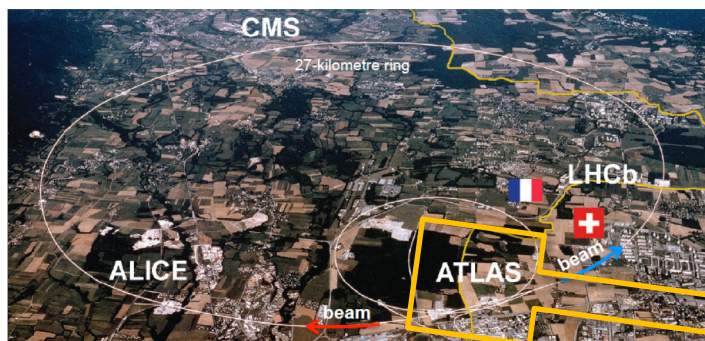


瞬时亮度 $5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$.
(十年积分亮度 3000 fb⁻¹)

→ 精确测量Higgs玻色子性质;
拓展新物理探测能力



ATLAS 径迹探测器

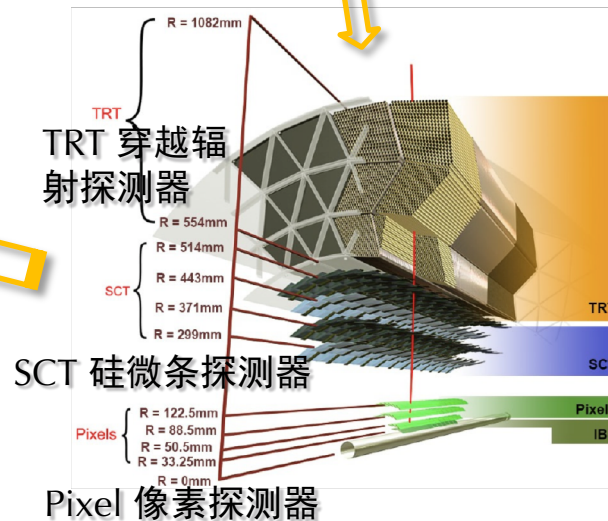
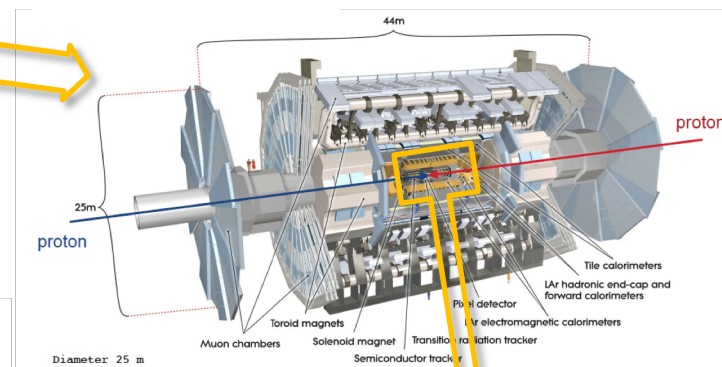
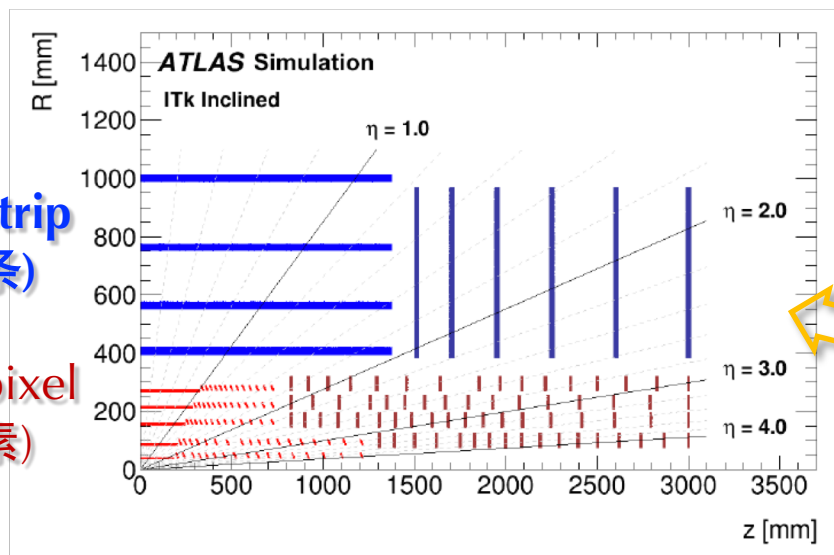


- ATLAS 探测器需要全新径迹探测器
 - 更强大的抗辐照性能；
 - 硅探测器覆盖更大面积，更多通道

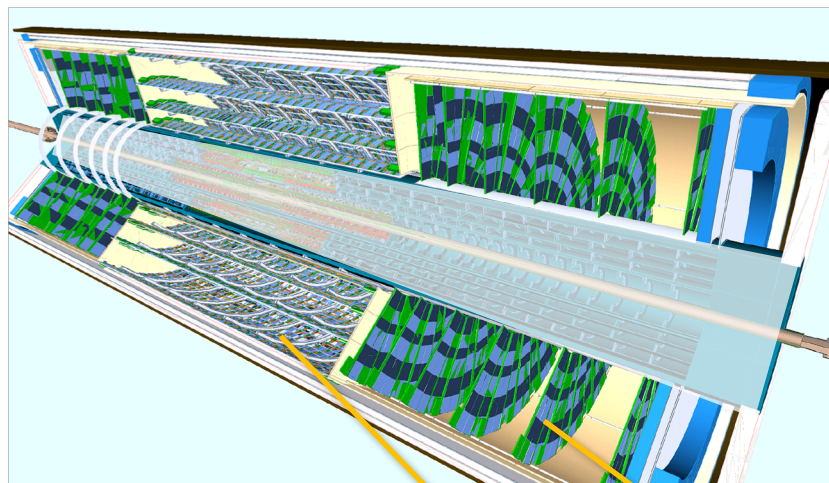
升级后的内层径迹探测器系统 ITk

ITk – strip
(硅微条)

ITk – pixel
(硅像素)

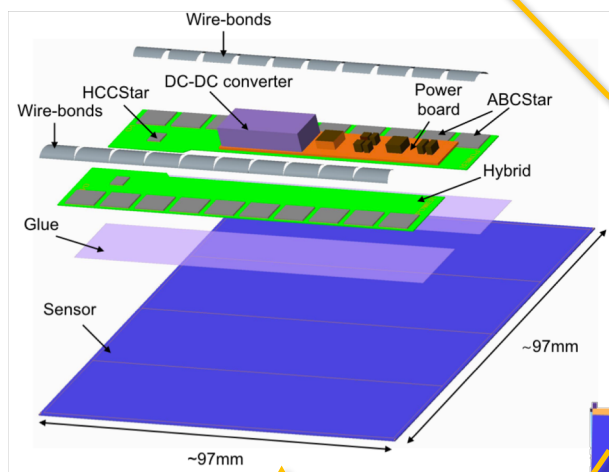


外层径迹探测器 ITk - strip



	现有 SCT	升级后 ITk-strip
半径 /mm	300 ~ 560	400 ~ 1000
通道数	~ 8 M	~ 100 M
模块数量	4 k	~ 20 k (165 m² Si)

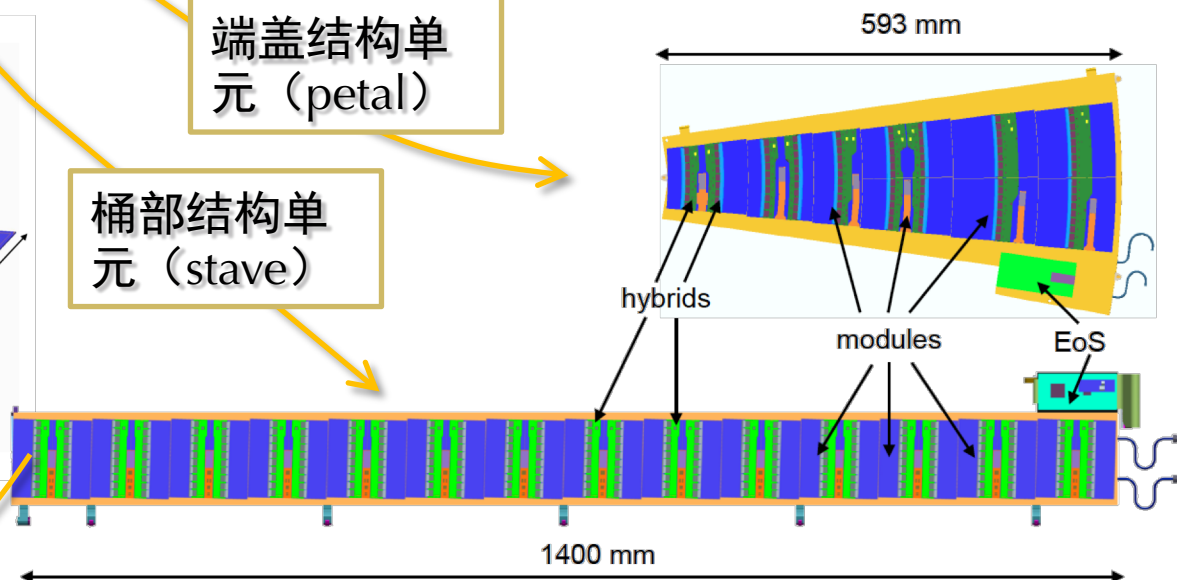
抗辐照要求(1.5倍安全系数) :
 $1.2 \times 10^{15} \text{ n}_{\text{eq}}/\text{cm}^2$, 50 MRad



桶部探测模块

端盖结构单元 (petal)

桶部结构单元 (stave)



高能所/清华 ITk 研究

- 2014年11月首次表达参与ITk升级的意向
- 主要研究方向
 - 前端读出电子学ASIC设计 → 设计
 - 1000块桶部模块(~10%总量)制作 → 建造
 - CMOS硅微条探测器性能研究 → 研发
- 获科技部重点研发计划支持开展预生产
- 成员：教职工8名（高能所7+清华1）及博士后、学生
- 重要时间节点：
 - 2017技术设计报告TDR (2017已完成√) → 2019 Q3 预生产开始 → 2020年底生产 → 2024年整体探测器安装

前端读出电子学设计

→ 详见陆卫国报告“硅微条径迹探测器读出ASIC进展”（第二分会场(4)）

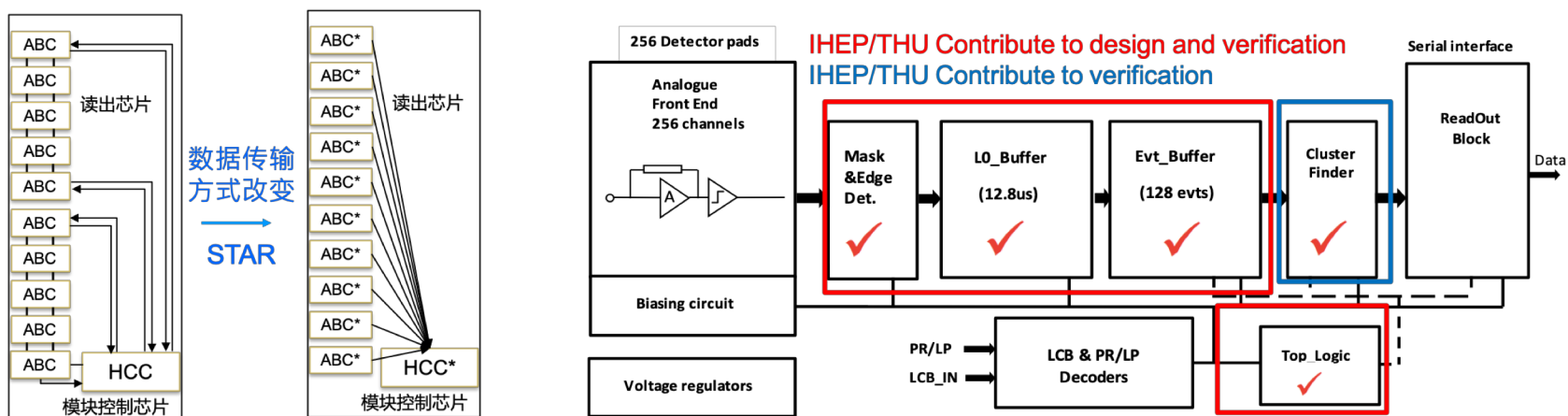
- 为适应升级后的触发率提升，有效利用带宽，简化系统架构，硅微条读出电子学数字部分重新设计：ABC → ABCstar

■ ABCStar 进展

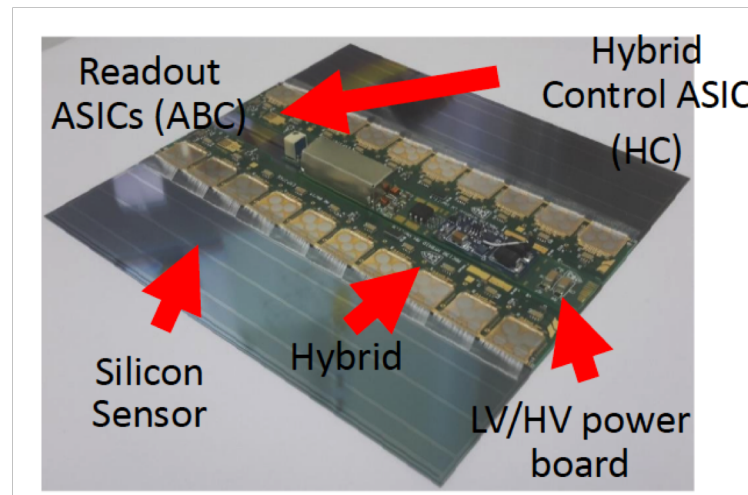
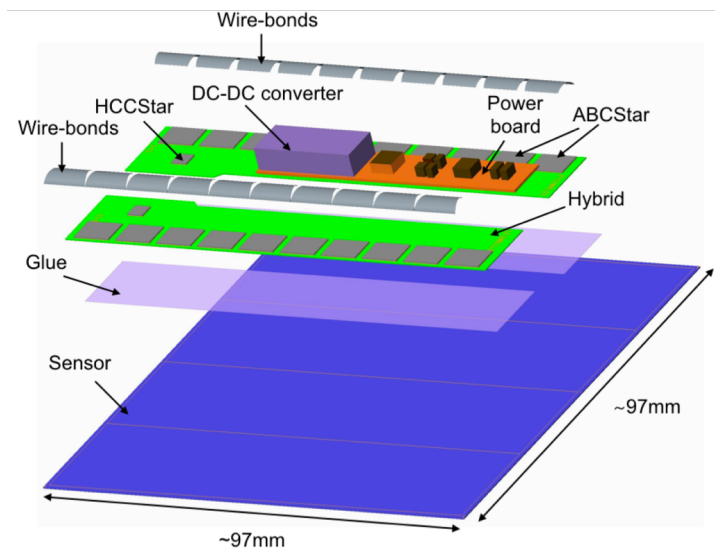
- 参与基准方案设计 → 2017 TDR
- 7月设计提交，~10月底收到晶圆并划片，~11月底开始单芯片测试
- 用于芯片测试的软硬件设计进行中；探索芯片预辐照缓解TID效应带来的功耗增加

■ 计划

- 近期：针对芯片前期的功能验证,准备测试向量用于芯片功能测试（ASIC evaluation）
- 远期：计划承担部分芯片的晶圆测试（wafer probing）



桶部模块组装建造



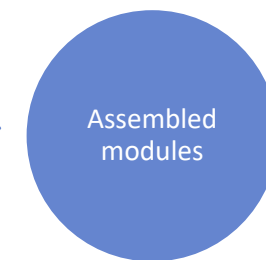
receiving
components

ASIC to sensor gluing,
metrology,
ASIC to sensor bonding,
electrical tests

hybrid
assembly

hybrid to sensor gluing,
power board gluing,
metrology,
sensor bonding,
electrical tests

module
assembly



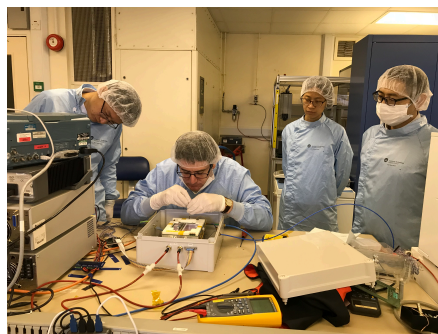
packaging
and shipping

与卢瑟福实验室合作

- 英国卢瑟福实验室(RAL)是ITk-strip领导单位之一，科研实力雄厚，设施完善，负责协调桶部模块生产总量一半
- IHEP/THU与RAL建立紧密合作关系
 - 承担的 1000 块模块生产任务中，50% 在RAL，50% 在国内完成
 - 2017年起，长期保持 2FTE 在 RAL，与英方共同完成原型模块组装测试
 - 多次邀请对方专家访问高能所



2016.9 高能所团队访问RAL商讨合作



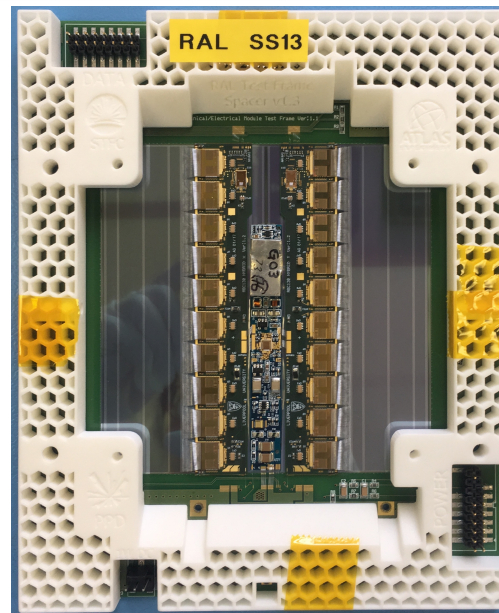
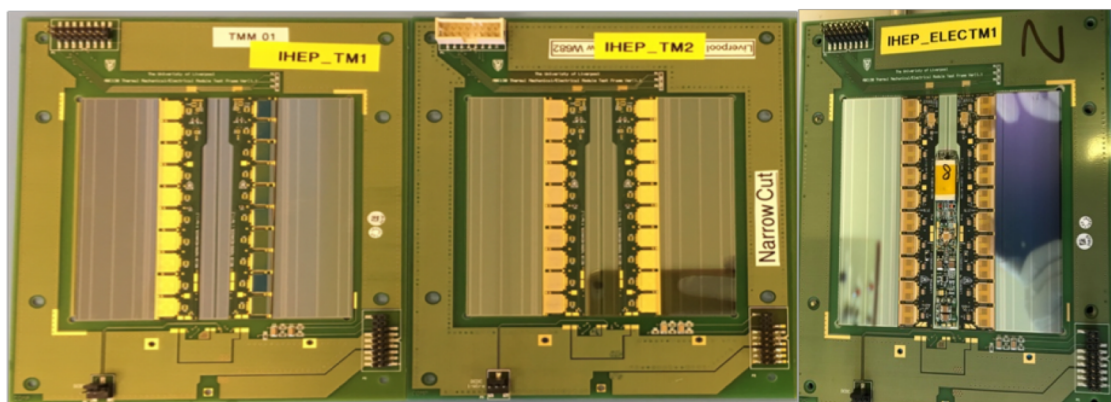
RAL/IHEP 成员在 (左)高能所
和 (右) RAL 共同工作



2018.10 王贻芳所长参观RAL ITk实验室

模块制作

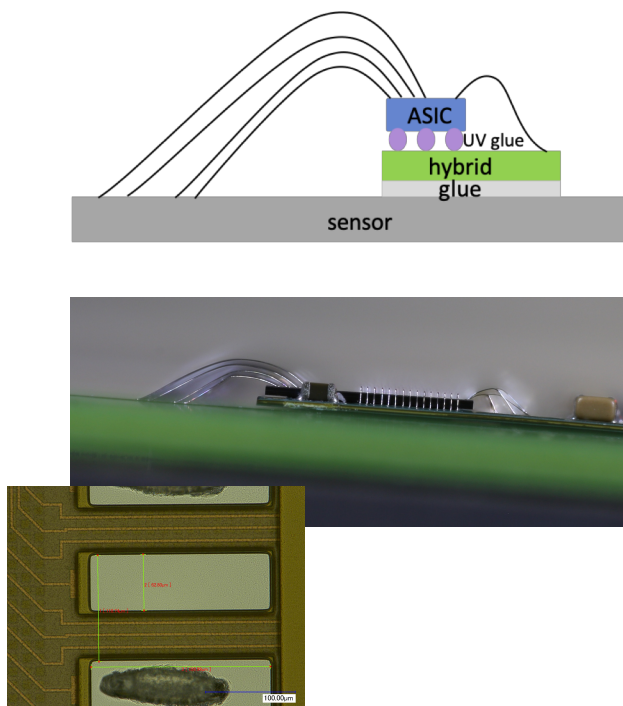
- 直接参与制作多种型号原型模块
 - *Thermal mechanical prototypes*
 - *Electrical mechanical prototypes*
 - *Long-strip sensor modules*
 - *Short-strip sensor modules*
- 掌握各流程，参与生产中的质量控制定义
 - 胶合、邦定、精密测量、电学性能测试...
- 其中多个模块将用于stave原型制作和系统测试



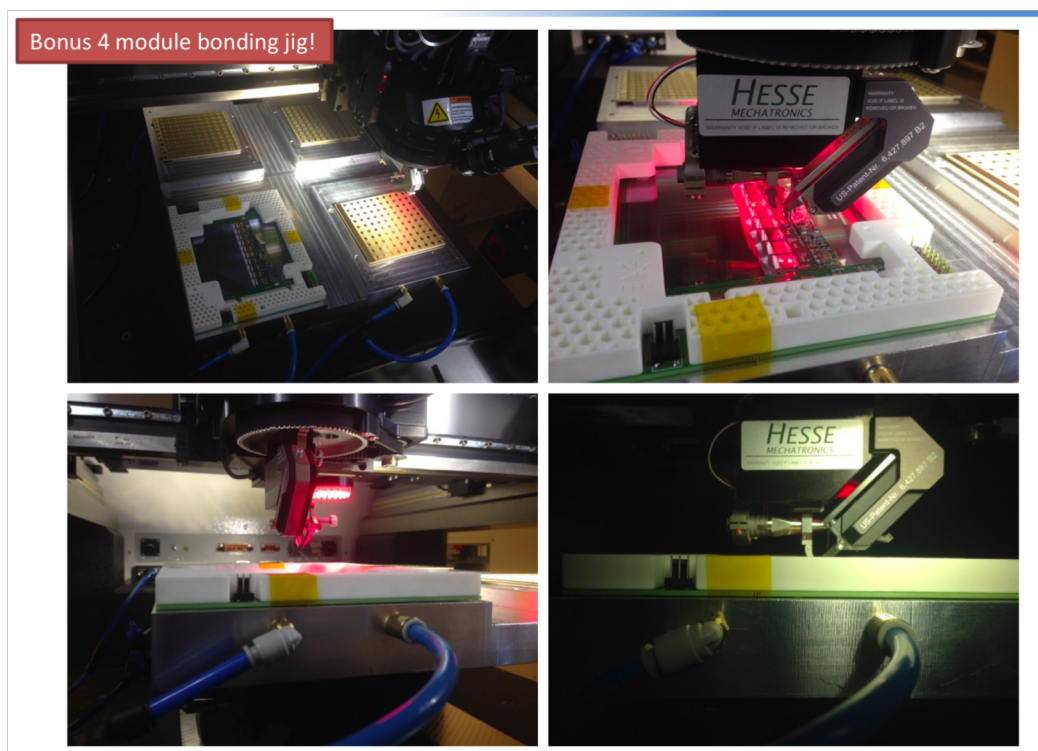
邦定步骤优化

- 邦定是模块生产中耗时耗力的关键步骤，对模块质量也至关重要

优化邦定参数，保证连接质量

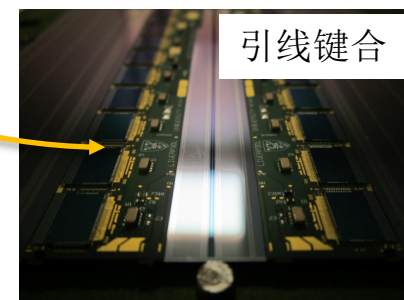
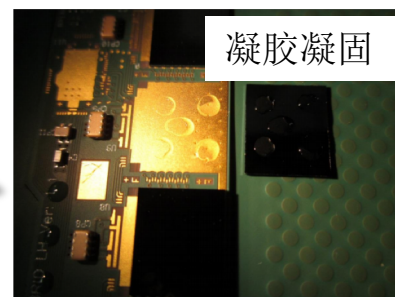
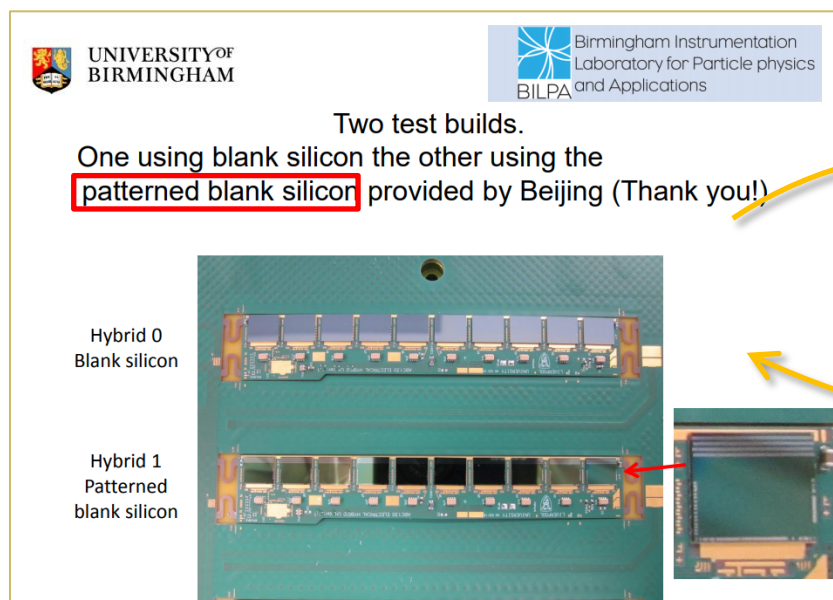
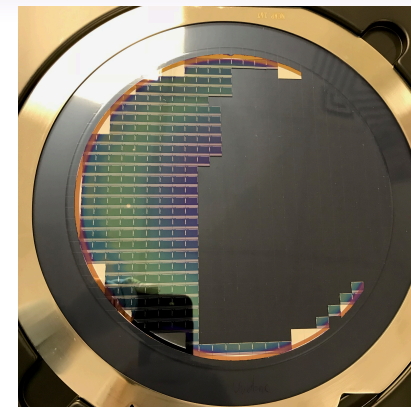


设计制作2乘2邦定底座，大大提高邦定效率



无源硅芯片

- 模块研制过程中，通常首先采用训练组件调整夹具、优化工艺参数和流程。提取ASIC芯片金属焊盘参数，向微电子所定制无源硅芯片，重点用于紫外凝胶凝固研究、邦定参数优化等



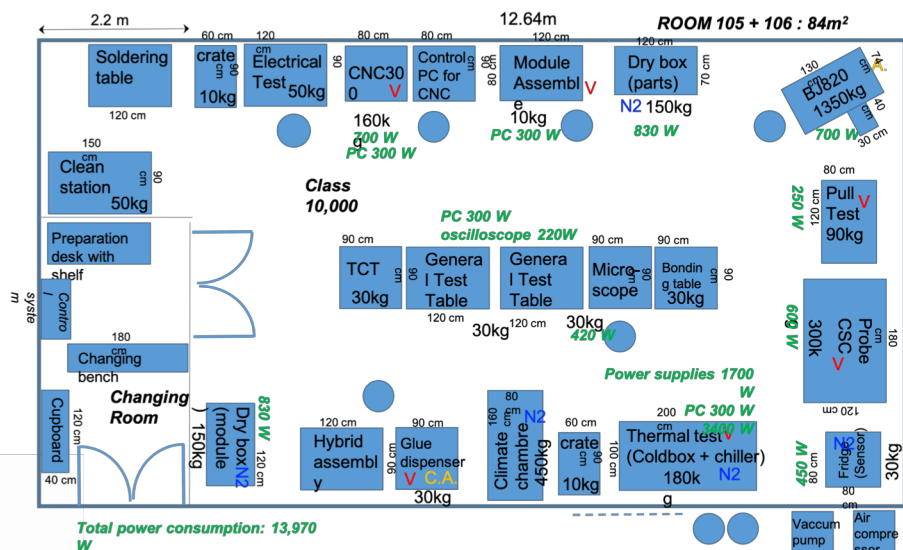
- 相比于之前使用的玻璃芯片，无源硅芯片的主要热机械性能更接近真实芯片，参数调节更具参考意义 → 向合作组提供新版无源硅芯片

高能所实验室建设

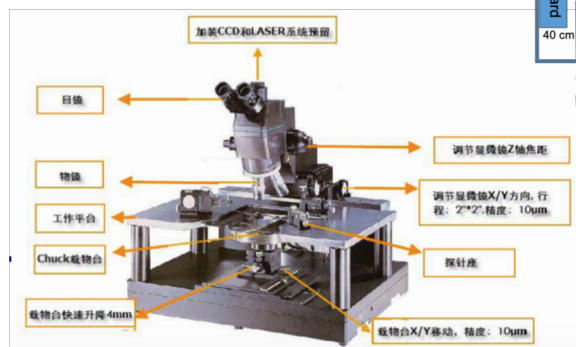
- 为满足国内较大规模的模块生产需求，高能所将改建恒温恒湿万级洁净间84平方米，目前已开工建设，相关设备也陆续采购到位，预计今年年底前投入使用



smartscope



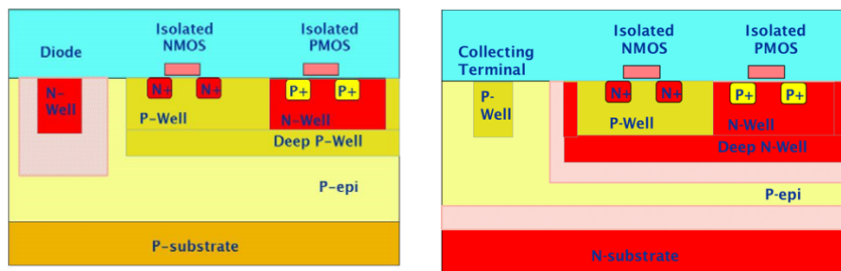
高速自动邦定机



探针台

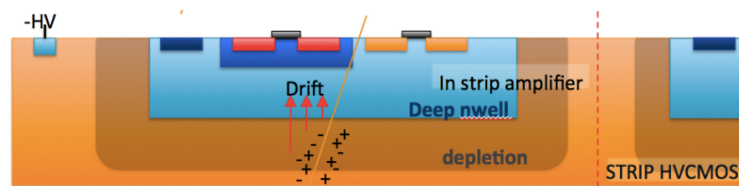
基于CMOS的硅微条探测预研

- 基于CMOS工艺设计制作硅微条探测器，具备低造价、低物质量等优点，可以替代传统型硅微条探测器，是未来对撞机实验上径迹探测器的重要候选技术
- 困难：CMOS耗尽层较浅



基于高阻CMOS工艺
(RAL设计) 高阻外延层

→ OVERMOS

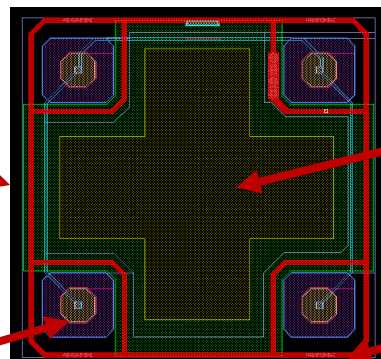
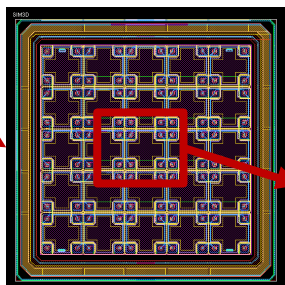
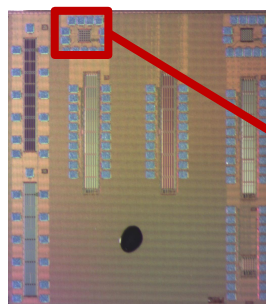


基于高压CMOS工艺
(UCSC/SLAC设计)，耗尽型

→ CHES2

OVERMOS 性能研究

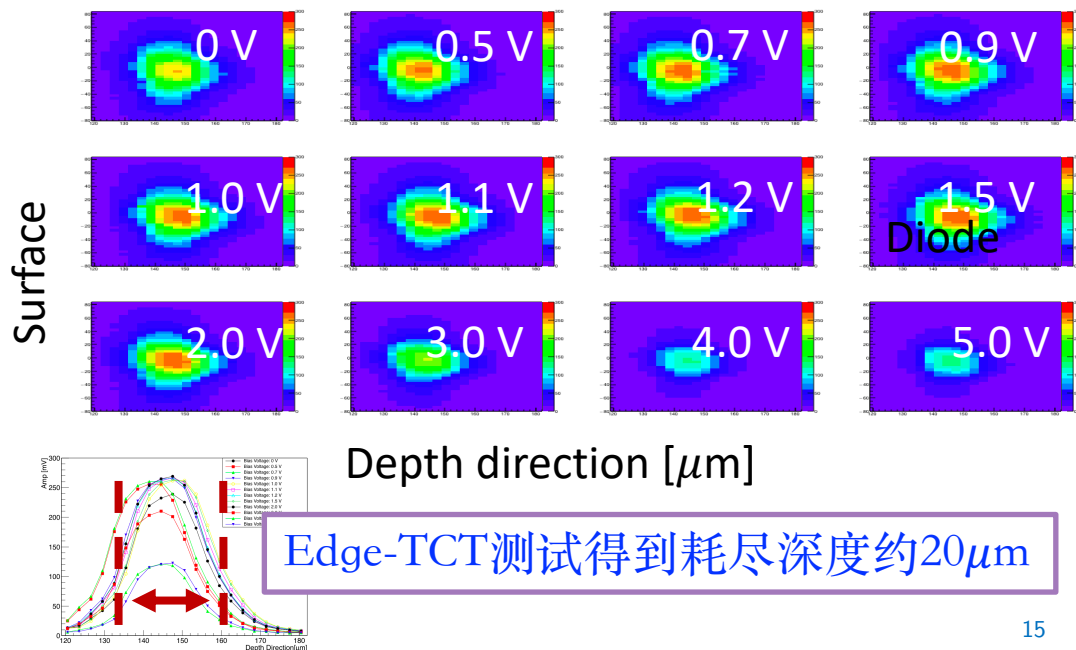
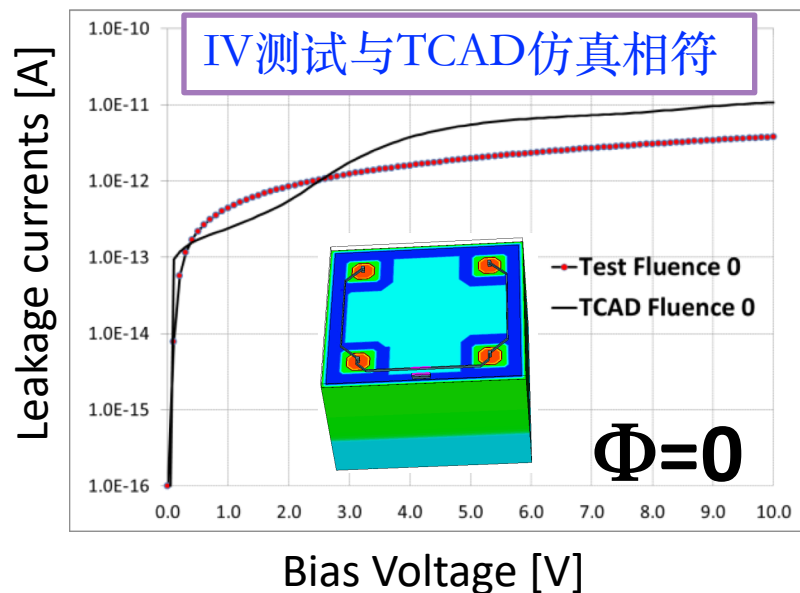
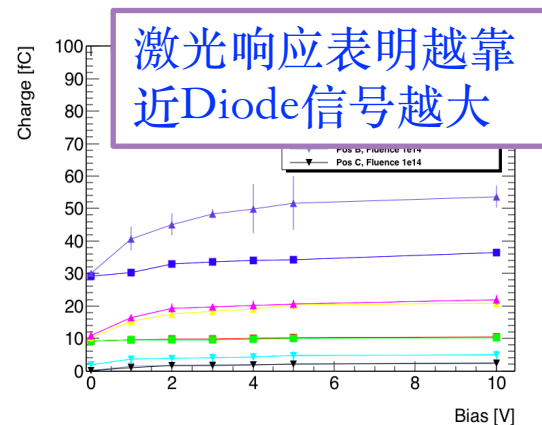
- OVERMOS探索用高阻CMOS技术实现ITk-Strip项目的像素型硅微条探测器



N-Well

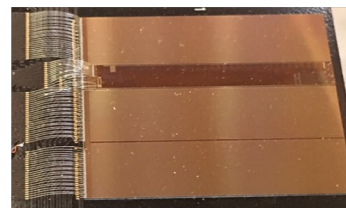
P-Well

P-Ring

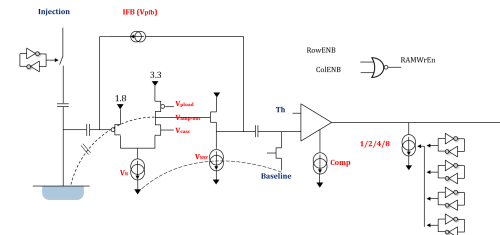


CHESS2 研究进展

■ CHESS2 = CMOS Evaluation for Strip Sensors, 基于高压CMPS技术的短微条探测器, 像素内数字电路, 全数字读出



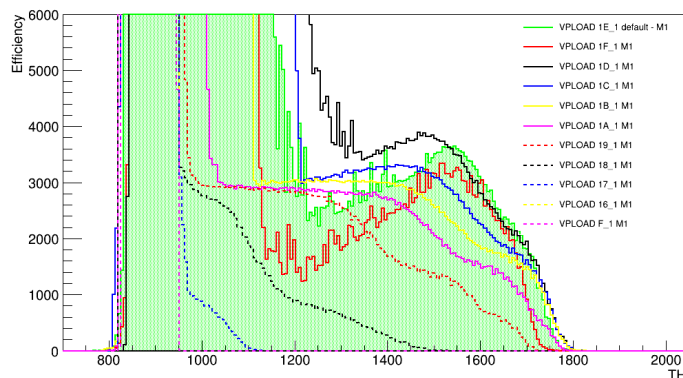
CHESS2 芯片



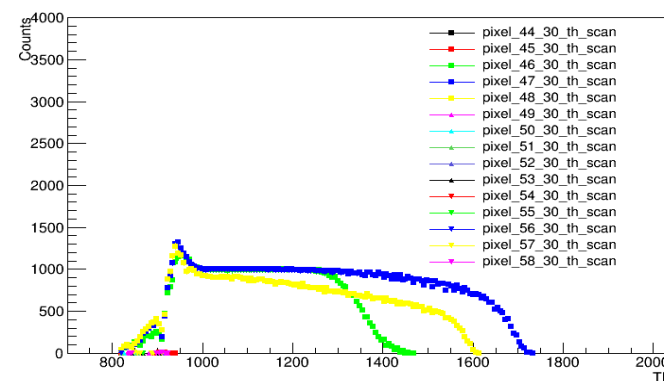
像素内电子学

研究进展:

- 使用外部脉冲测试电路观测到明显信号并初步确定芯片稳定工作区域
- 升级与优化系统: 硬件 (冷却, 固定, 所需测试元件, 仪器), 软件 (读出方式, 测试软件)
- 观察到激光信号, 并完成了基于激光信号的前端电子学的优化



不同测试参数下的信号、噪声变化



优化后的单个像素的计数 (3个接收到激光信号的像素)

存在问题:

- 部分芯片无法成功加偏压
- 像素间阈值/基线的差异引起的噪声较大
- 测试所用信号缺陷(激光信号): 能量上升/下降较理想情况差异很大, 最小持续时间 ($5\mu\text{s}$) 数倍于理想情况
- 现有测试信号 (激光, 外部信号发生器) 能否作为测试信号对芯片理想工作模式进行测试

后续计划:

- 优化trimming功能 (调节基线/阈值在各像素的值的差异)
- 使用镅源做测试以及LCLS test beam测试

Summary

- ATLAS ITk 升级正以2024年安装为目标开展中
- IHEP/THU ITk合作组在ITk硅微条探测器升级中参与[电子学设计](#)、[模块建造](#)和[CMOS硅微条预研](#)，积极开展国际合作，项目进展顺利，未来将作出更多的实质性贡献
- 感谢科技部重点研发计划、核探测与核电子学国家重点实验室和中科院国际合作交流项目支持！