

# CSNS 质子实验束 束流望远镜

董明义

On behalf of the working group

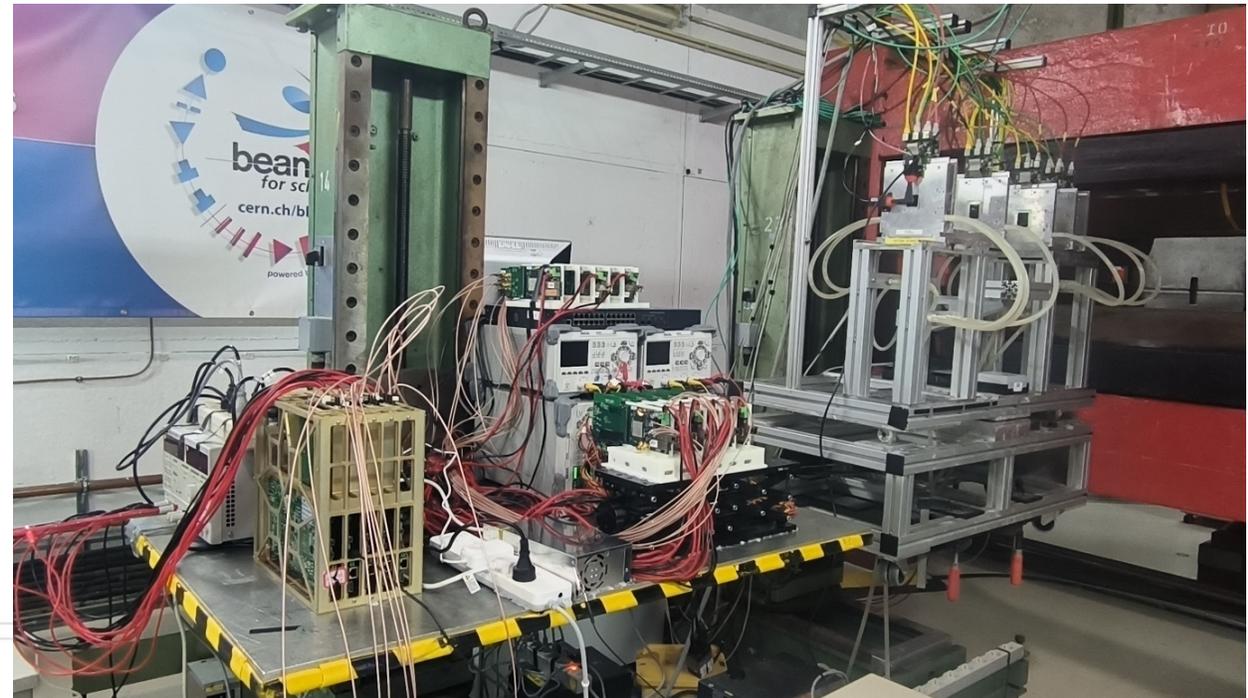
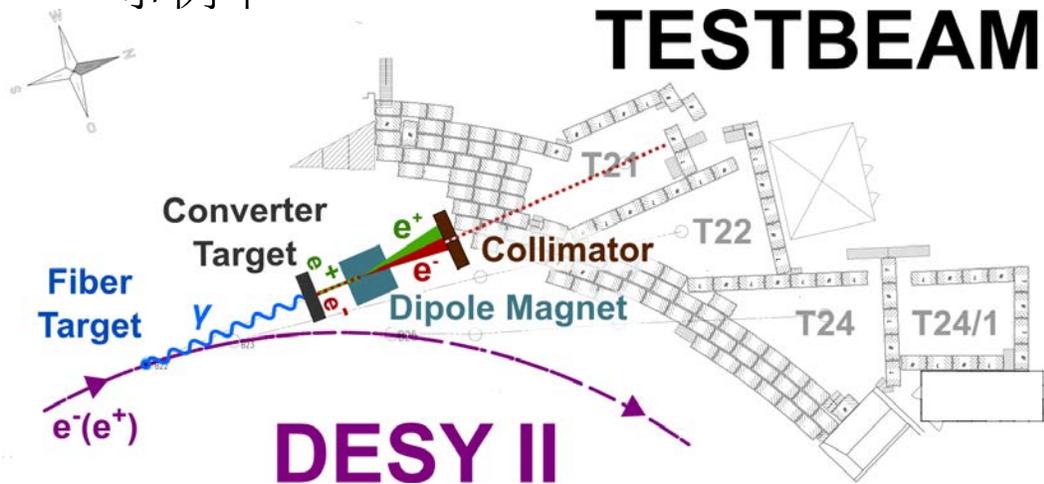
2022.12.28

# 主要内容

- 束流望远镜简介
- CSNS 质子实验束束流望远镜设计
  - 结构设计
  - 性能模拟
  - 读出系统
- 总结

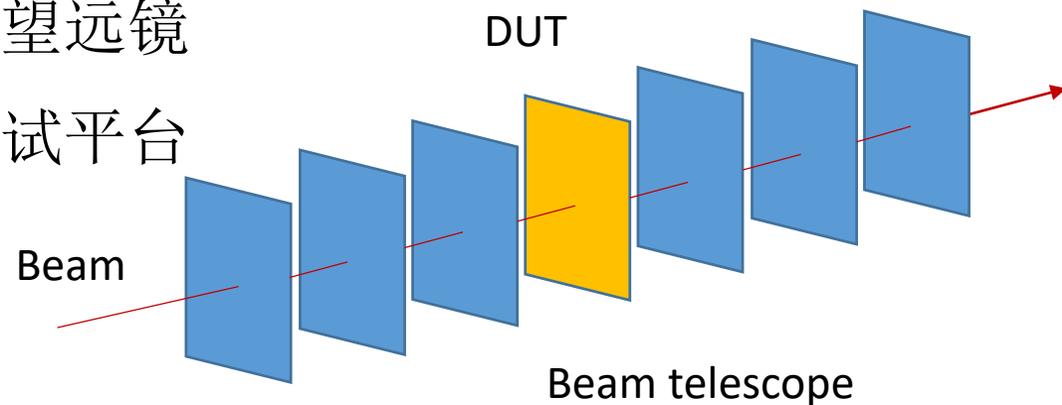
# 硅像素探测器束流测试

- 实验束可以提供单能、准直的单粒子，能够模拟对撞反应的模态粒子在探测器中的响应
- 通过拟合待测芯片（DUT）测得的粒子击中位置与粒子参考径迹在DUT上的交点间的残差来确定DUT的位置分辨率
- 束流参数：
  - 束流能量, 能散
  - 束斑尺寸
  - 事例率



# 束流望远镜

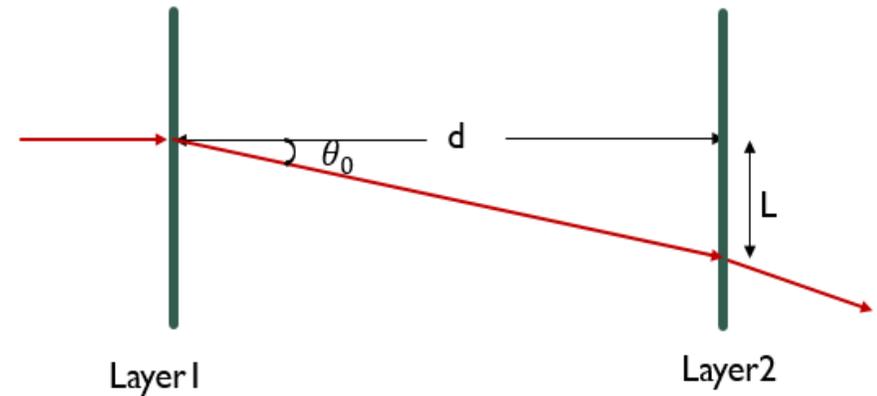
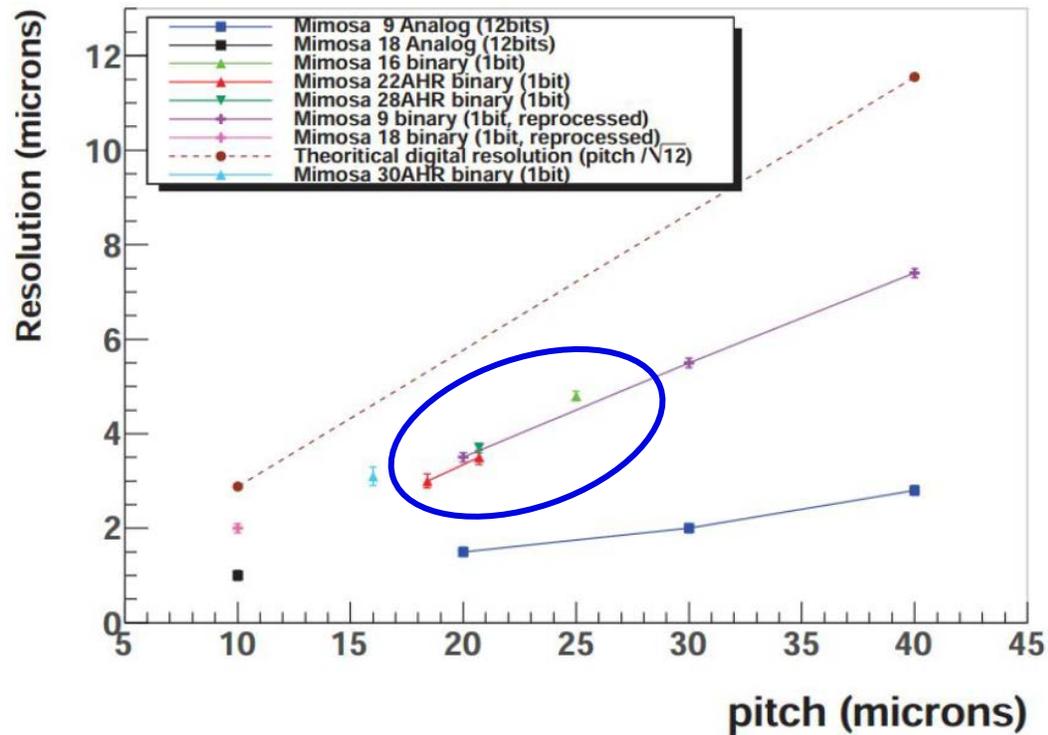
- 束流测试中提供粒子参考径迹的系统称为束流望远镜
- 位置灵敏探测器位置分辨率研究不可缺少的测试平台



- 主要参数：
  - 灵敏面积：各层组灵敏区的重叠面积，最好与束斑面积匹配
  - 物质量：物质量越低，多次散射效应越小，有利于提高测量精度
  - 位置分辨：决定参考径迹的位置测量精度，较高的位置分辨可以减小测试系统误差
  - 读出速度：决定系统可以工作的最高计数率
  - 探测效率：束流望远镜系统探测效率越高，同样的事例数需要相对越短的束流时间

# 空间分辨

- 空间分辨率决定对待测参考粒子径迹的位置测量精度，束流望远镜的核心指标
  - 像素尺寸
  - 物质质量



$$L = d \theta_0$$

$$\theta_0 = \frac{13.6 \text{ MeV}}{\beta c p} Z \sqrt{\frac{x}{X_0}} \left( 1 + 0.038 \ln\left(\frac{x}{X_0}\right) \right)$$

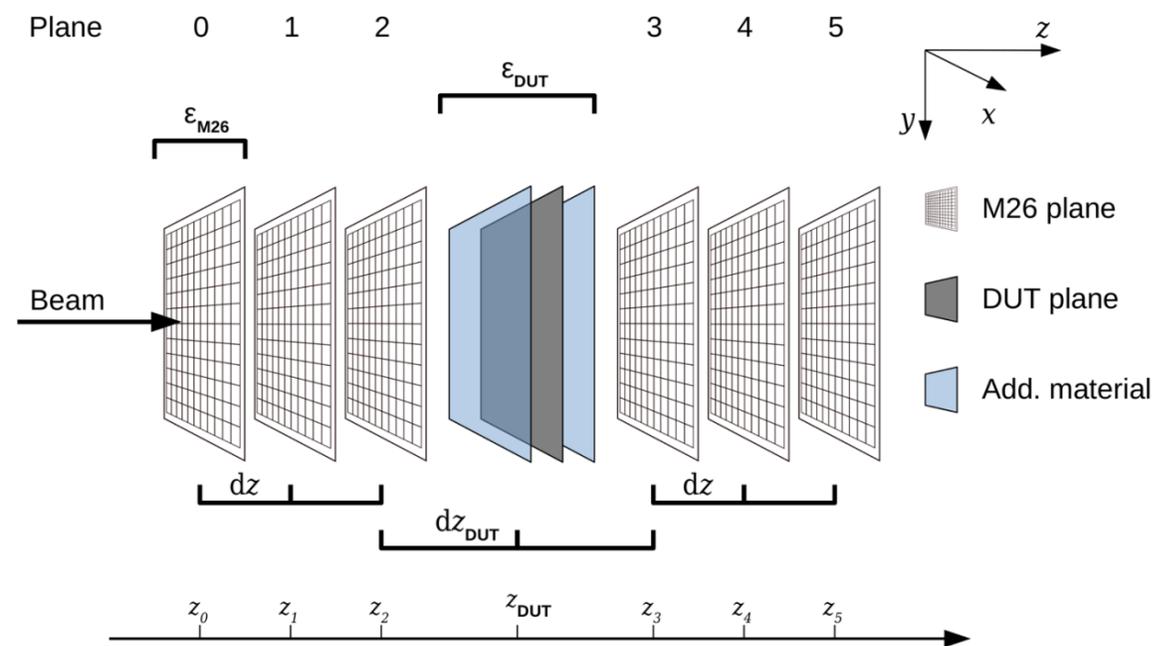
测量空间分辨率:  $\sigma_{\text{meas}}^2 = \sigma_{\text{DUT}}^2 + \sigma_{\text{tel}}^2 + \sigma_{\text{MS}}^2$

$\sigma_{\text{tel}}^2 = k \sigma_{\text{S\_tel}}^2$ , 其中  $k=1/N$ ,  $N$  为望远镜系统层数

# 国际上的束流望远镜

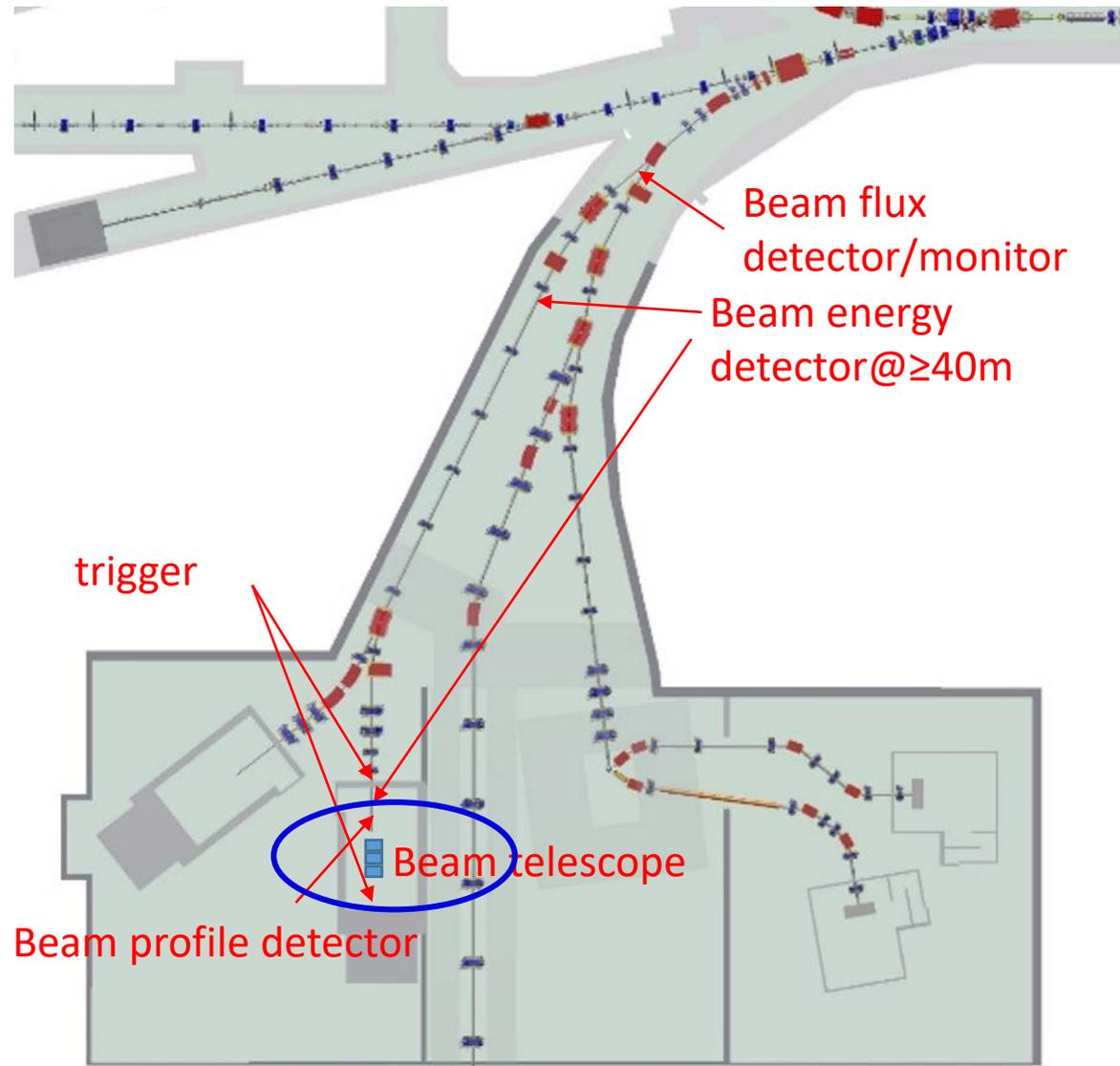
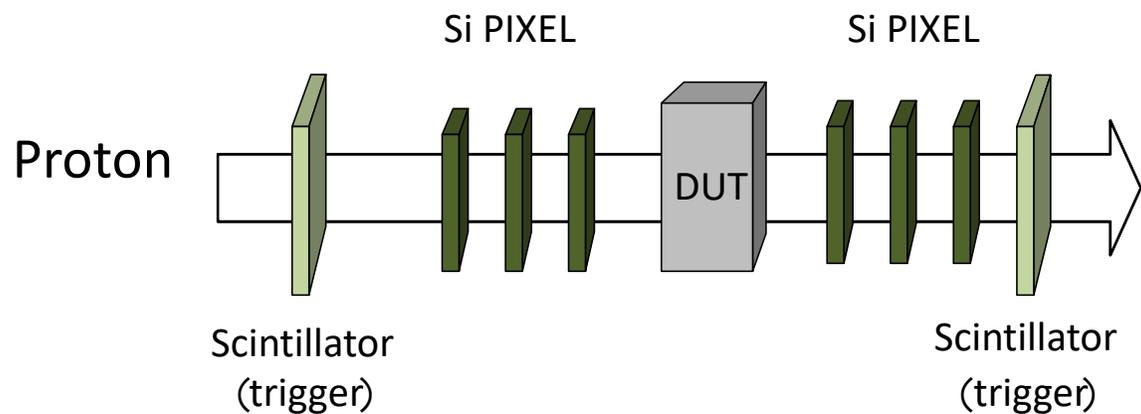
芯片	FE-I4	TimePix3	MuPix7	<b>EUDET (MIMOSA26)</b>
芯片类型	混合型	混合型	单片型	单片型
芯片像素尺寸 ( $\mu\text{m}^2$ )	$50 \times 250$	$55 \times 55$	$80 \times 80$	$18.4 \times 18.4$
灵敏区面积 ( $\text{mm}^2$ )	$16.8 \times 20$	$14 \times 14$	$20.5 \times 20.5$	$21.2 \times 10.6$
层物质质量 ( $\% X_0$ )	0.45	0.5	0.06	0.07
探测效率	99%	96%	98%	99.5%
径迹位置分辨率 ( $\mu\text{m}$ )	8.3@180GeV	2@180GeV 400 @50MeV	12@180GeV 18@4GeV 150@50MeV	1.33@180GeV 1.83@6GeV 180 @50MeV
最大触发率	6kHz	60Hz	1MHz	3.9kHz

# EUDET-type 束流望远镜



- EUDET束流望远镜是欧盟FP6研究计划(6<sup>th</sup> Framework Programme)支持下开发的，使用的是IPHC研发的MIMOSA26单片型硅像素芯片
- 共6层，包含芯片板（铝盒内）、读出板，冷却结构等

# CSNS 质子实验束束流望远镜设计

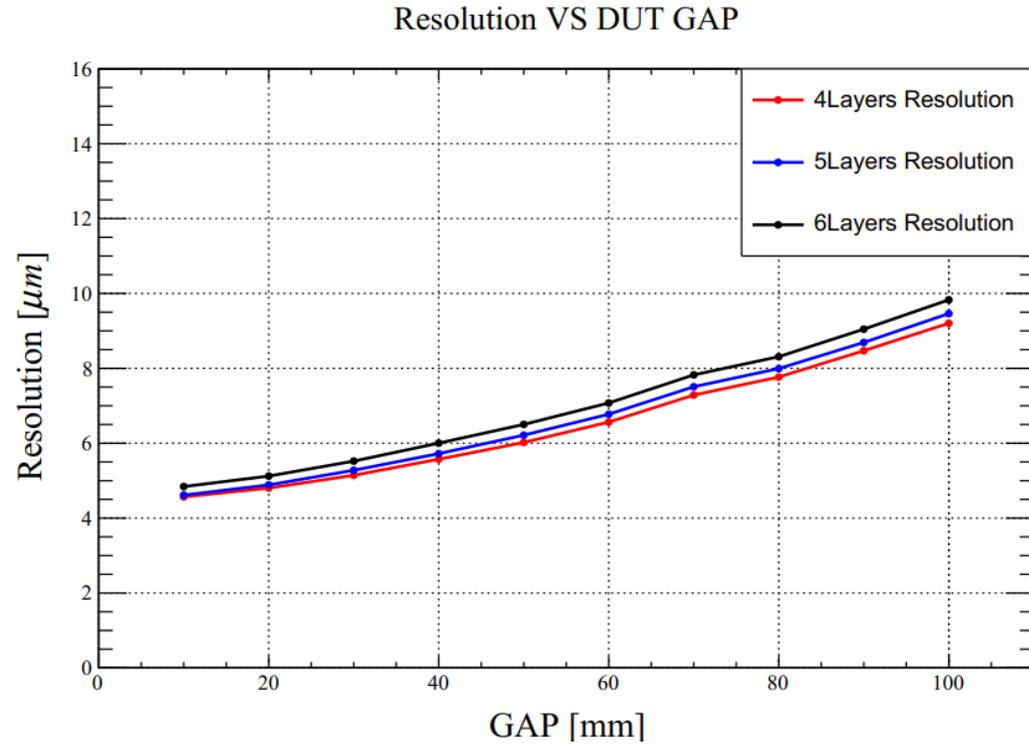


- 硅像素、硅微条等芯片的性能测试研究
- 为DUT提供高精度粒子参考径迹

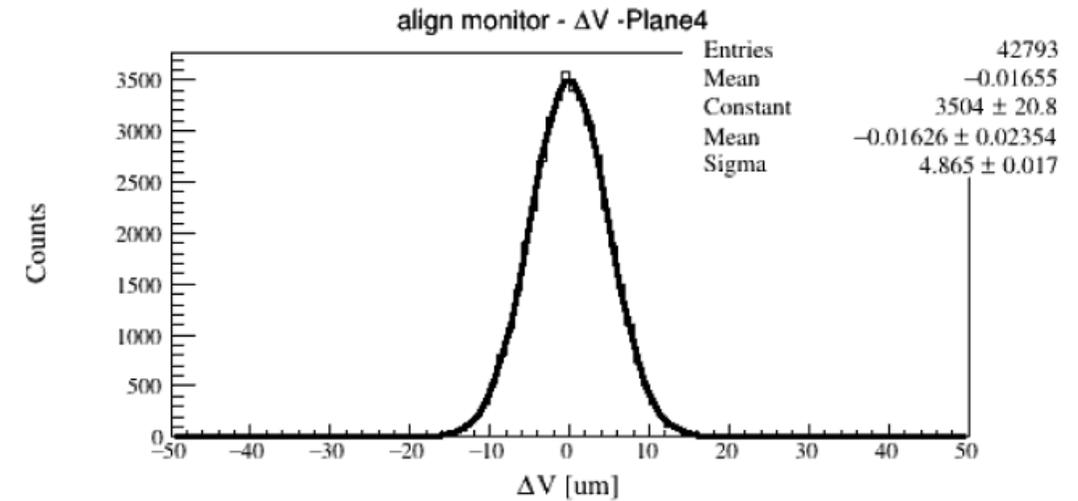
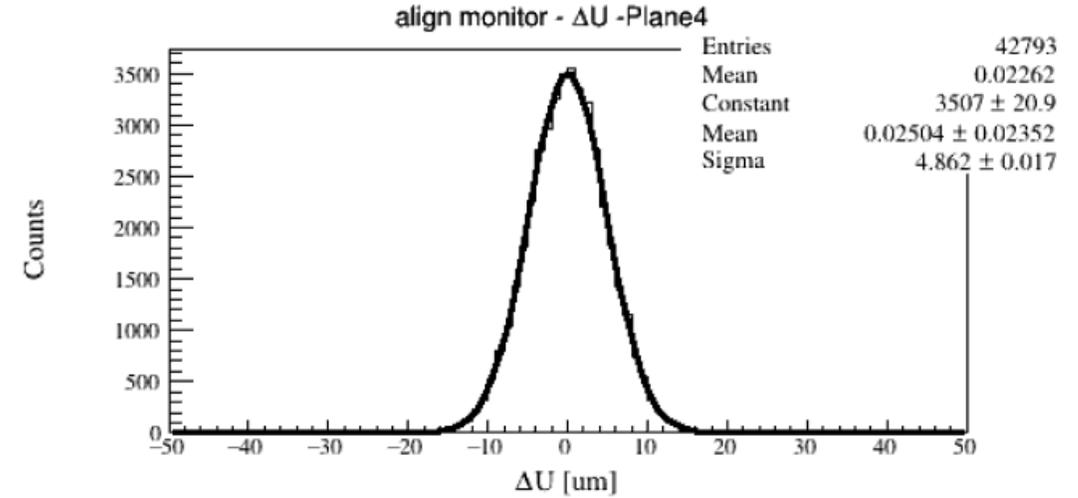
# 设计参数

Parameters	Design requirement
layers	6
Active area /layer	$\geq 3 \text{ cm}^2$
Position resolution	$\leq 10 \text{ }\mu\text{m}$
Hit rate	$\sim 1\text{kHz}$
Material budget	50 $\mu\text{m}$ silicon + $<100\mu\text{m}$ kapton

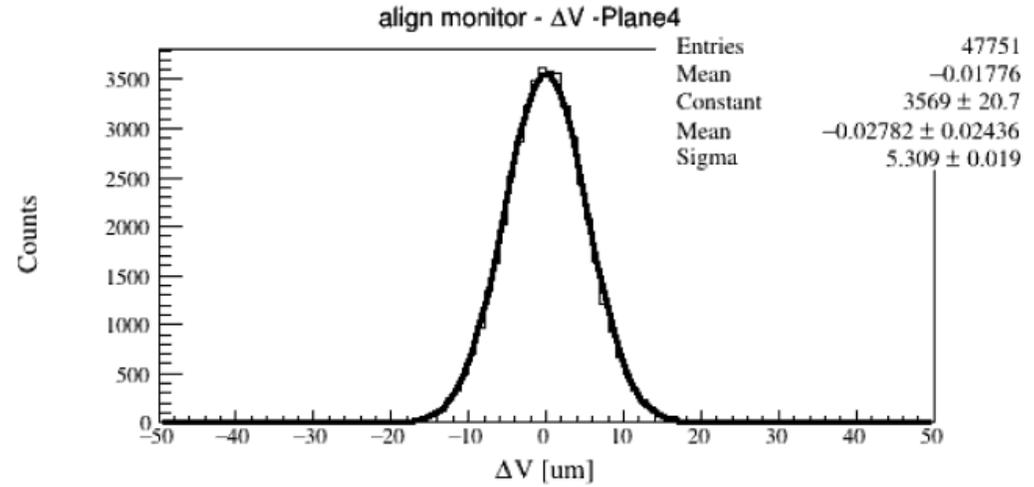
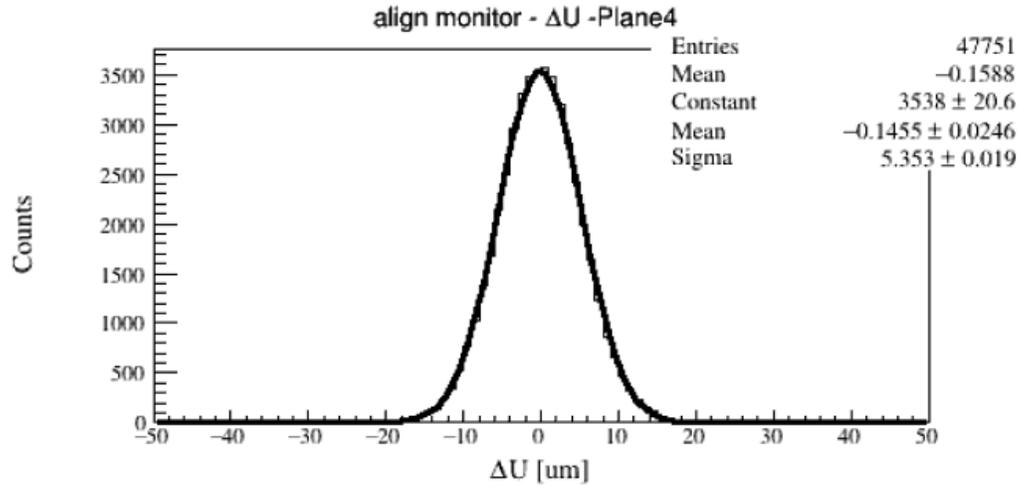
# Simulation



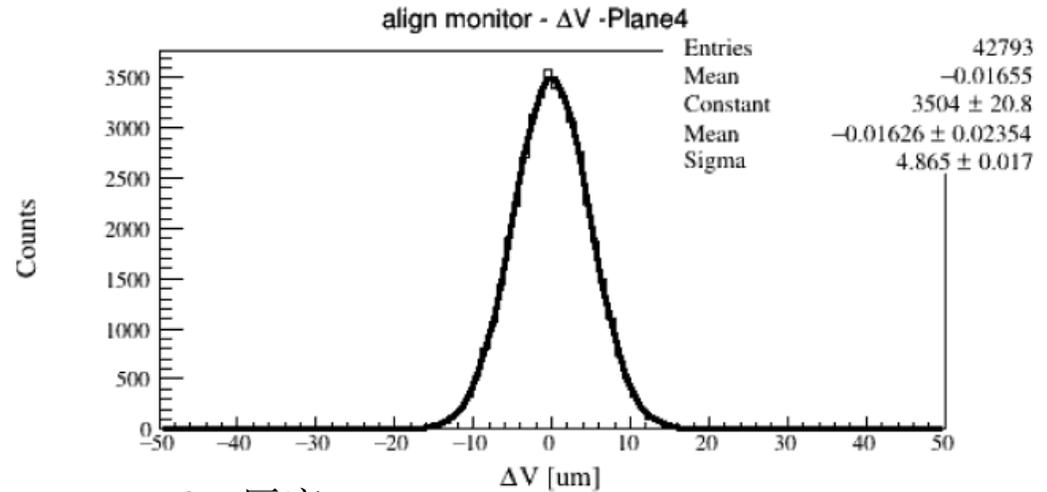
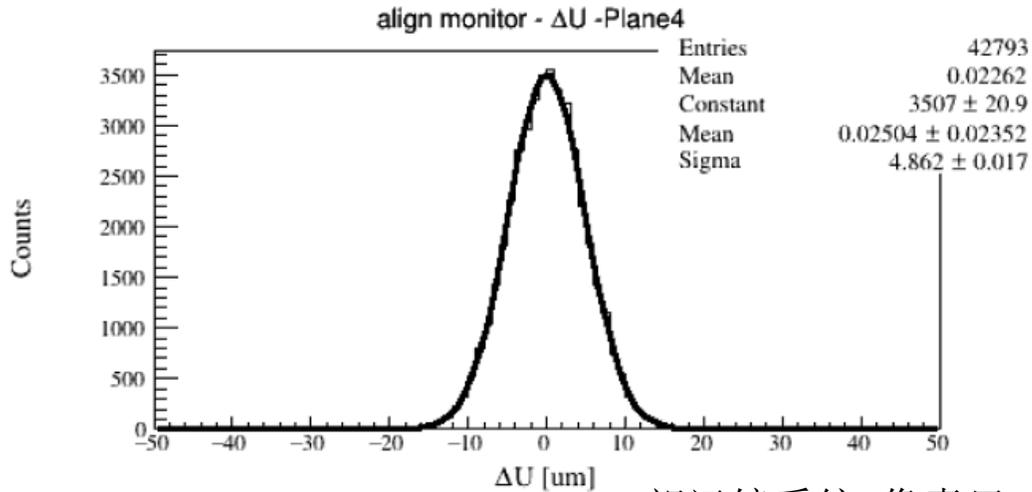
望远镜系统: 像素尺寸 $20.7 \times 20.7 \mu\text{m}^2$   
物质质量:  $50 \mu\text{m}$  silicon +  $100 \mu\text{m}$  kapton  
质子能量 $1.6 \text{ GeV}$



# Simulation



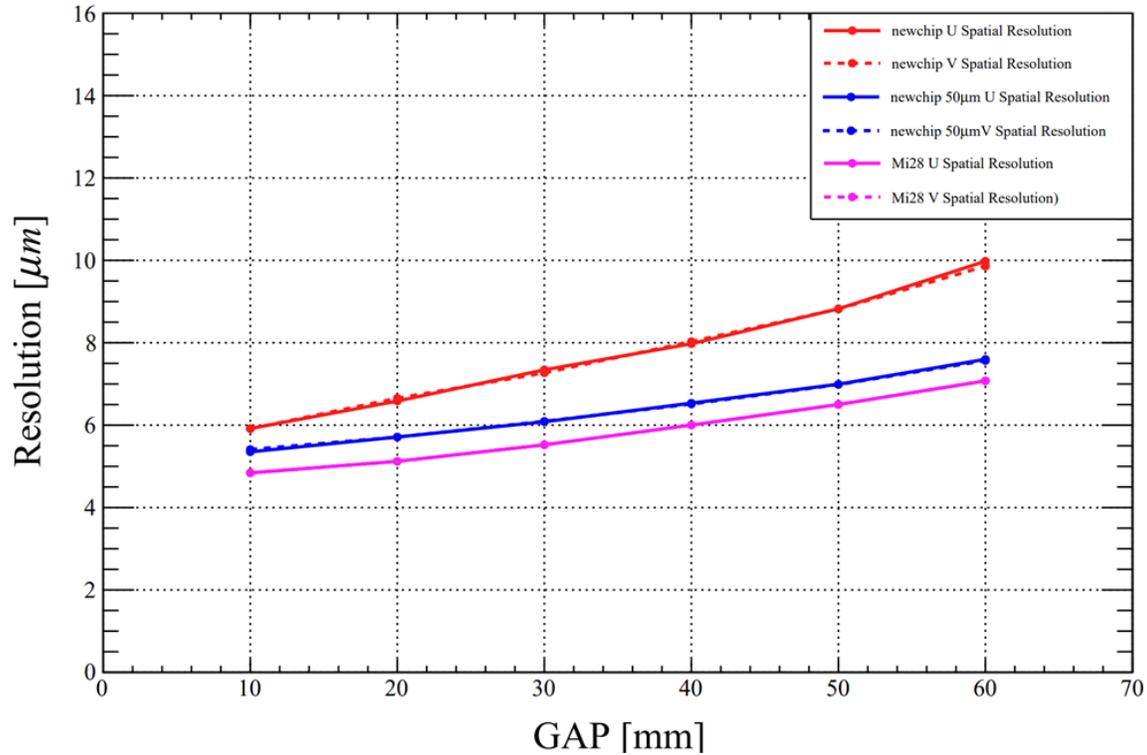
望远镜系统: 像素尺寸 $25 \times 25 \mu\text{m}^2$ , 厚度 $50 \mu\text{m}$   
DUT: 像素尺寸 $20.7 \times 20.7 \mu\text{m}^2$ , 厚度 $50 \mu\text{m}$  能量 $1.6 \text{GeV}$



望远镜系统: 像素尺寸 $20.7 \times 20.7 \mu\text{m}^2$ , 厚度 $50 \mu\text{m}$   
DUT: 像素尺寸 $20.7 \times 20.7 \mu\text{m}^2$ , 厚度 $50 \mu\text{m}$  能量 $1.6 \text{GeV}$

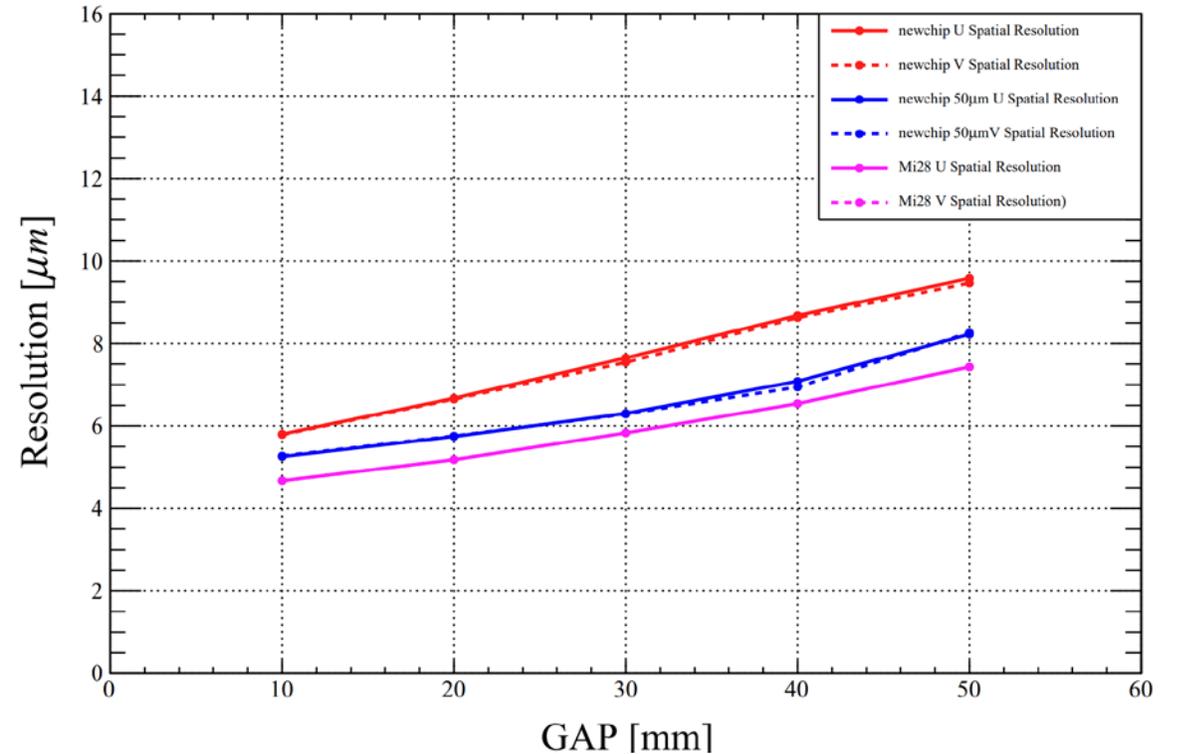
# Simulation

## Resolution VS DUT gap



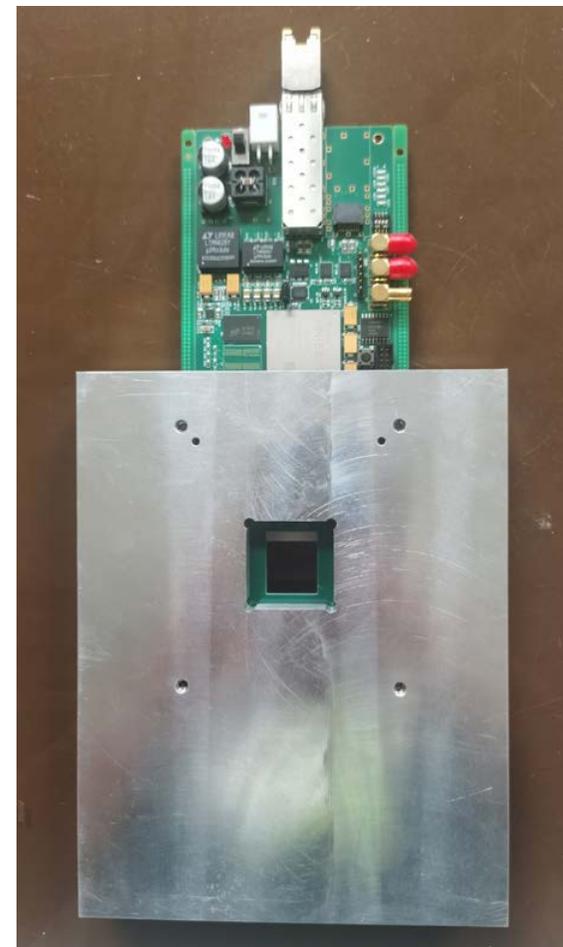
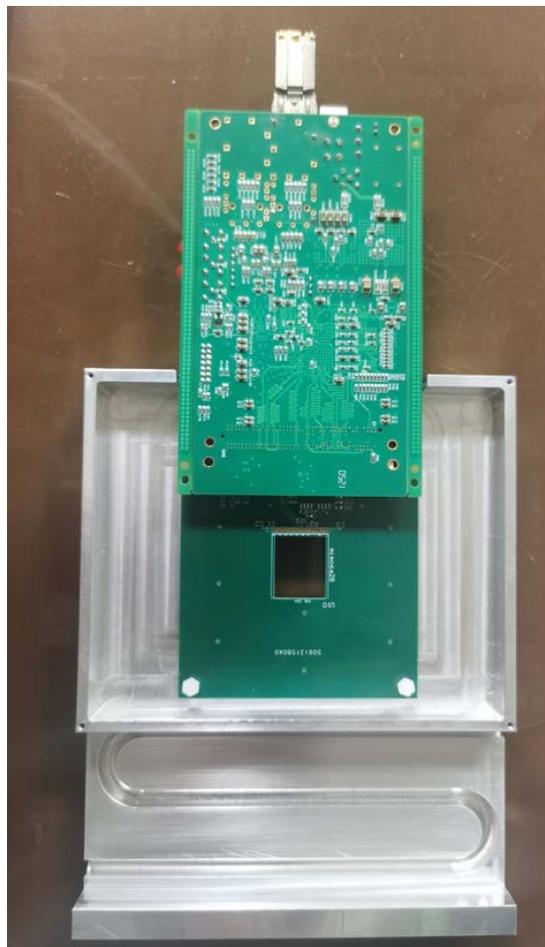
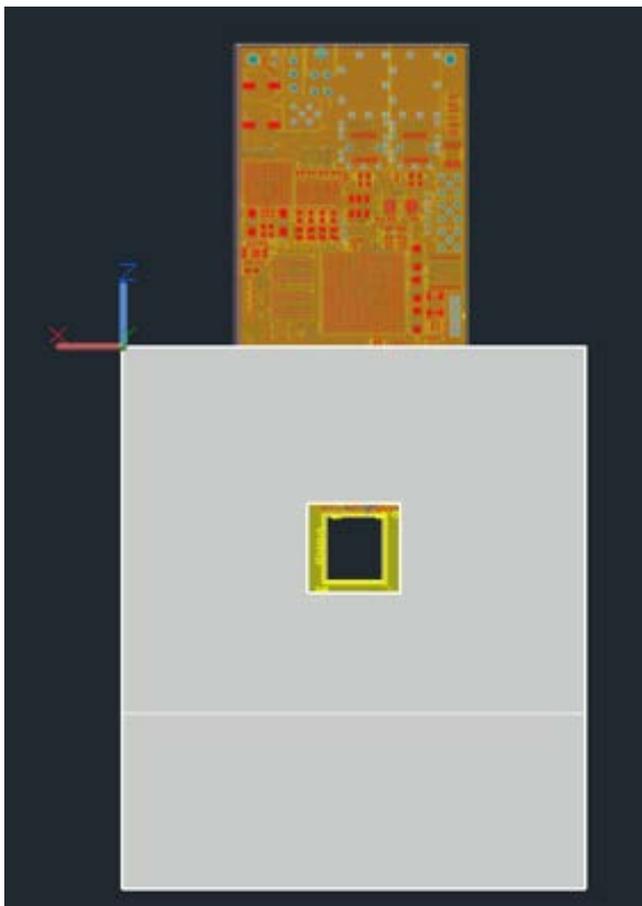
改变DUT与前后望远镜系统间距，  
红线像素尺寸 $25 \times 25 \mu\text{m}^2$ ，厚度 $150 \mu\text{m}$ ，  
蓝线像素尺寸 $25 \times 25 \mu\text{m}^2$ ，厚度 $50 \mu\text{m}$ ，  
粉红像素尺寸 $20.7 \times 20.7 \mu\text{m}^2$ ，厚度 $50 \mu\text{m}$

## Resolution VS Telescope gap



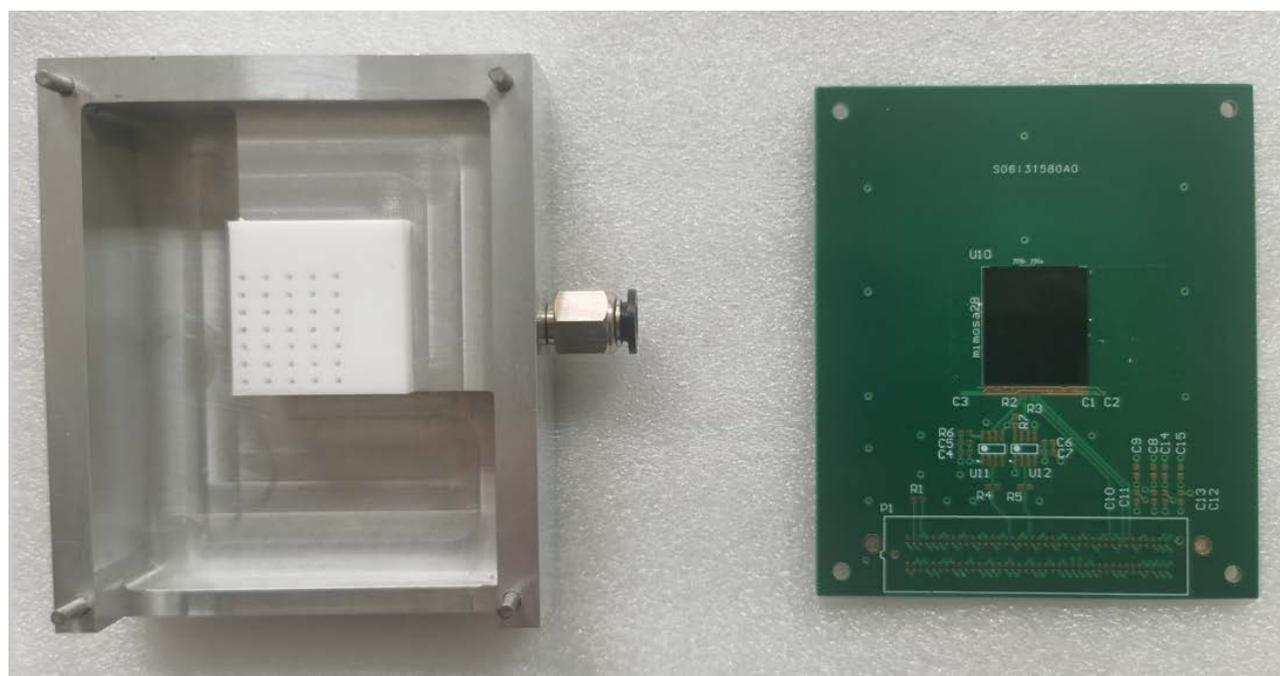
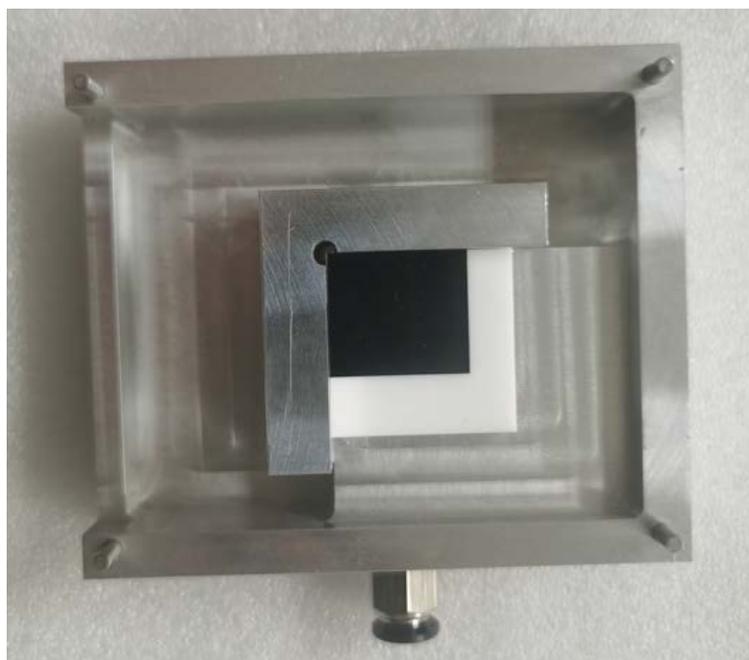
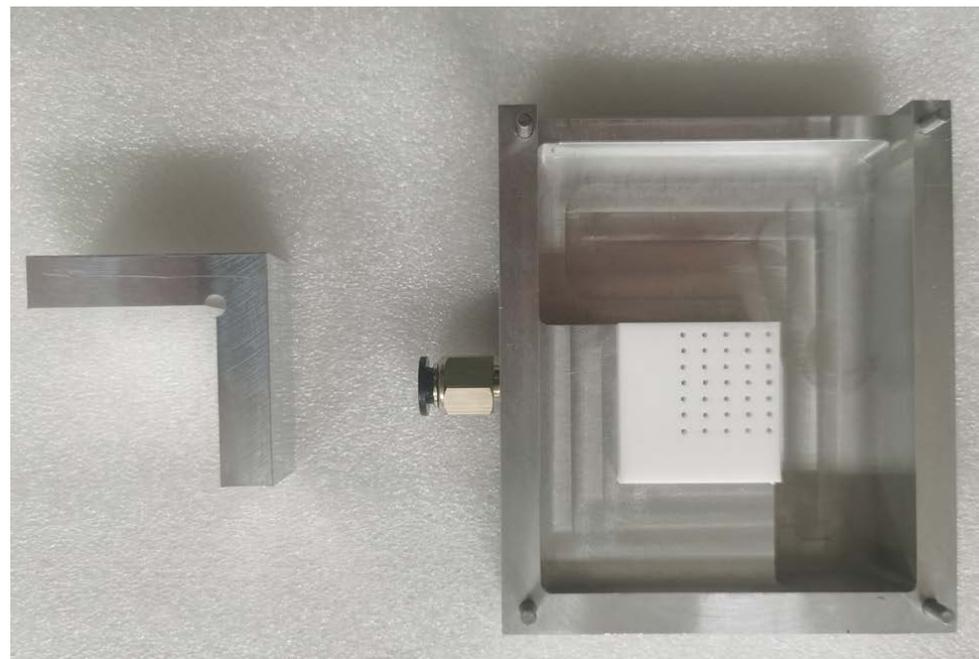
改变望远镜系统各层间距，  
红线像素尺寸 $25 \times 25 \mu\text{m}^2$ ，厚度 $150 \mu\text{m}$ ，  
蓝线像素尺寸 $25 \times 25 \mu\text{m}^2$ ，厚度 $50 \mu\text{m}$ ，  
粉红像素尺寸 $20.7 \times 20.7 \mu\text{m}^2$ ，厚度 $50 \mu\text{m}$

# 探测器设计

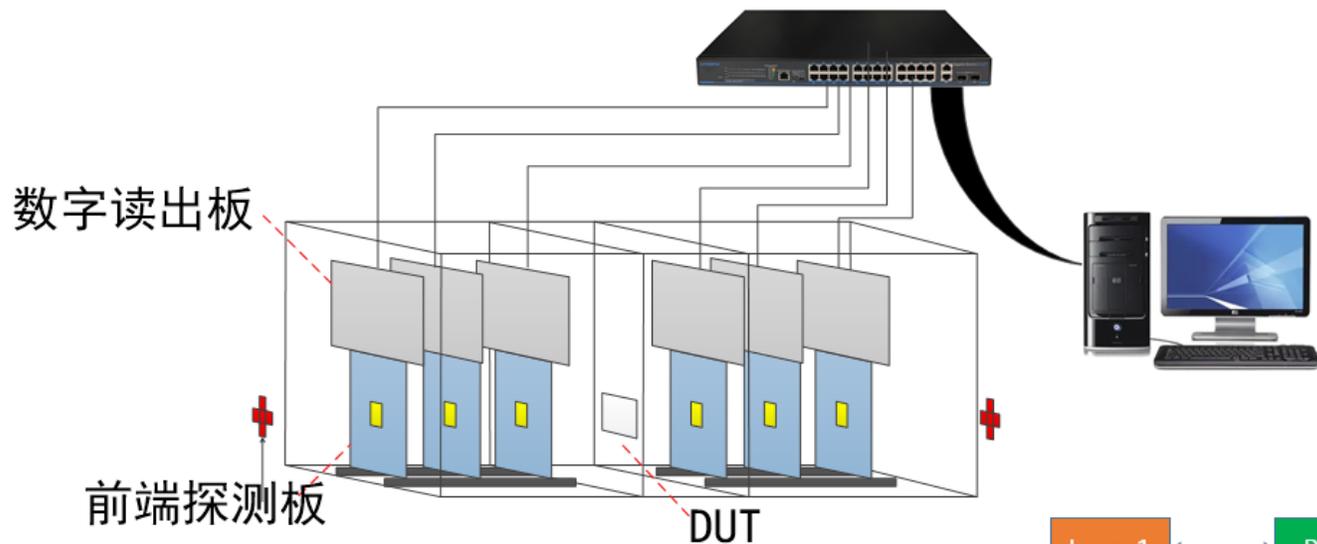


# 芯片安装工装

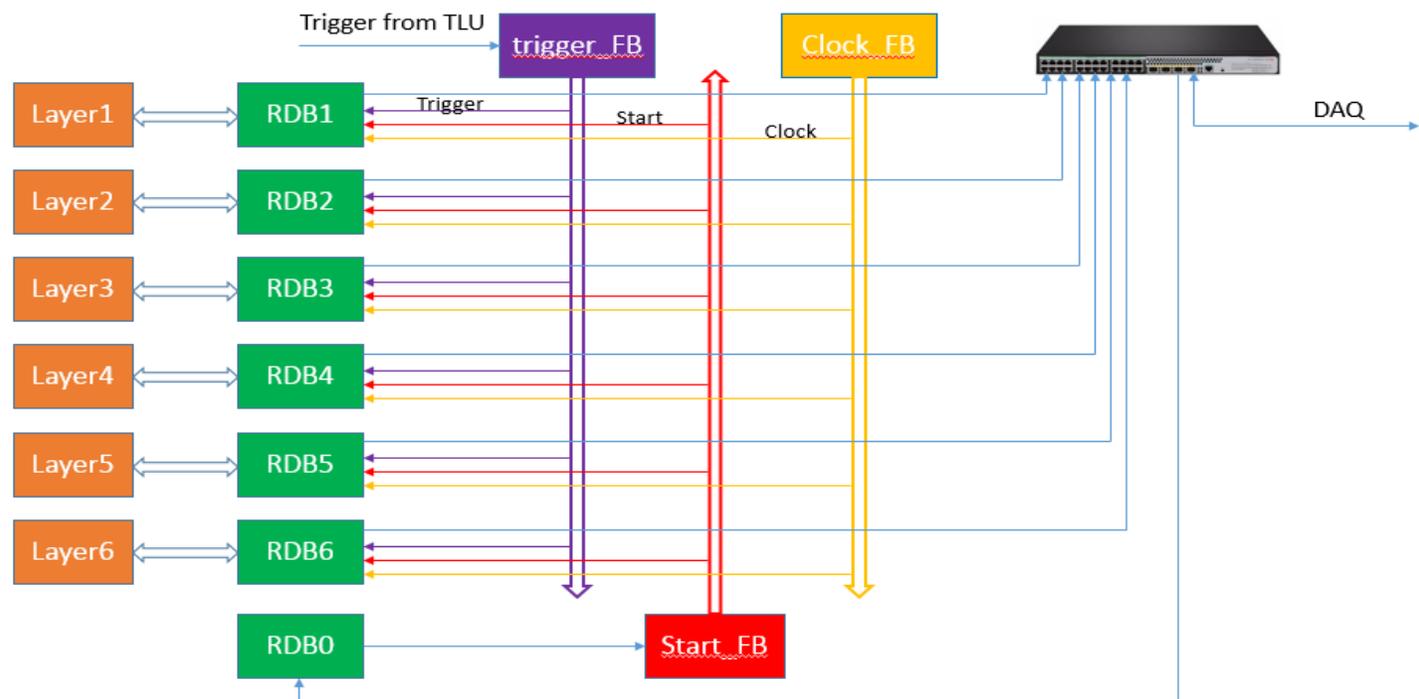
- 实现芯片在PCB上精确定位



# 读出电子学



- 芯片板
- 数据读出板
- 时钟扇出板
- 触发扇出电路
- 启动信号控制电路



# 电子学系统



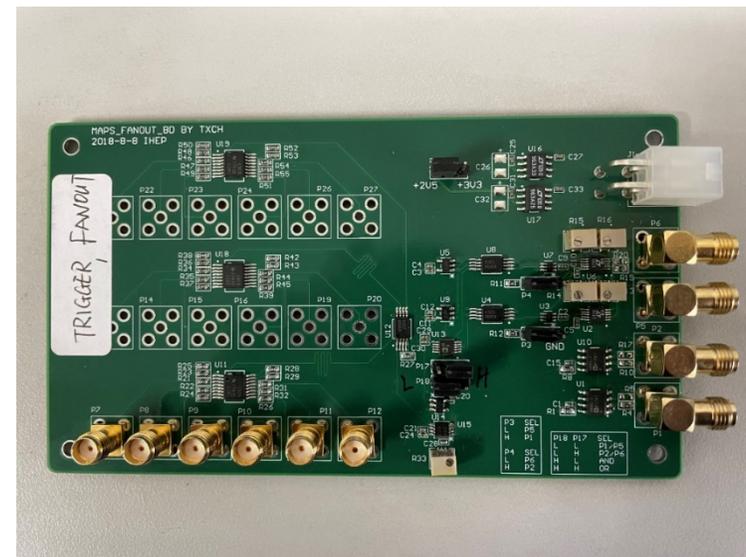
芯片板



数字读出板

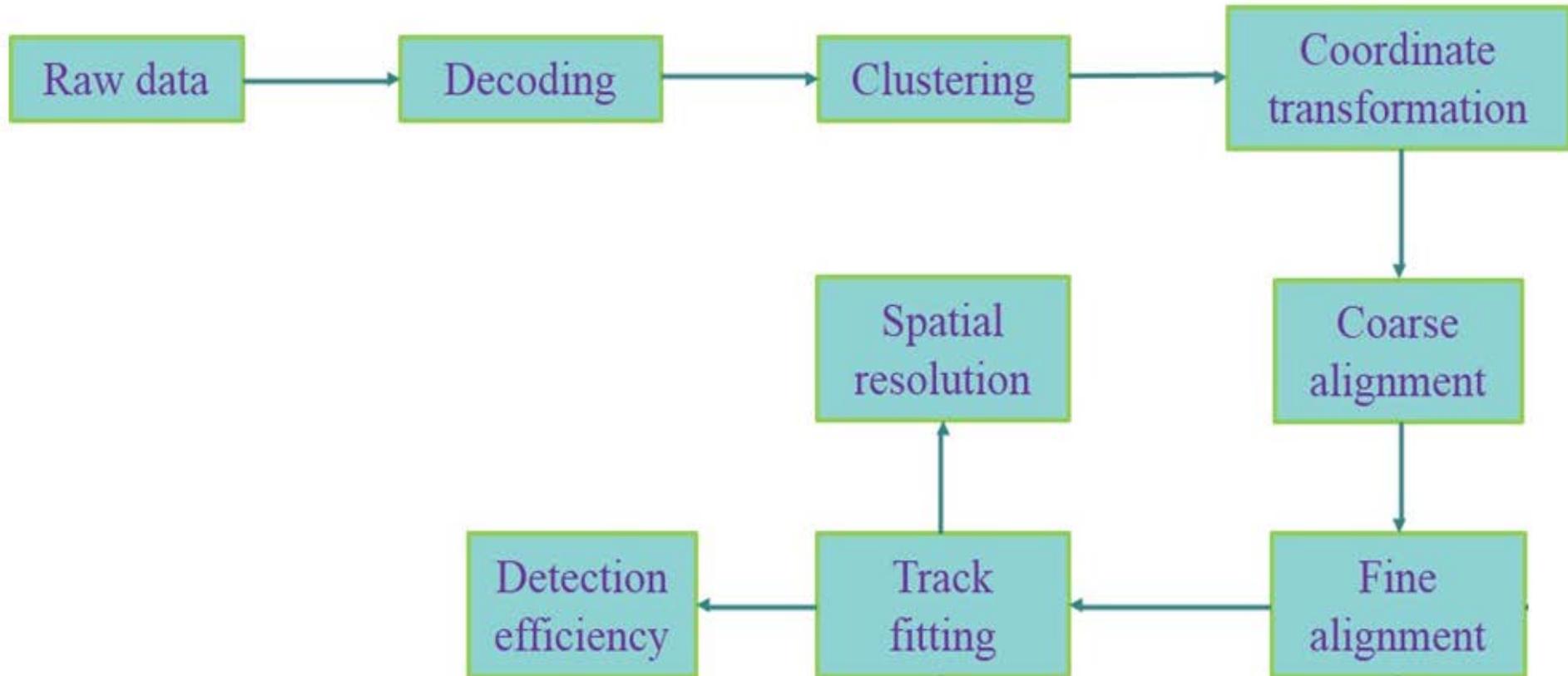


系统时钟板

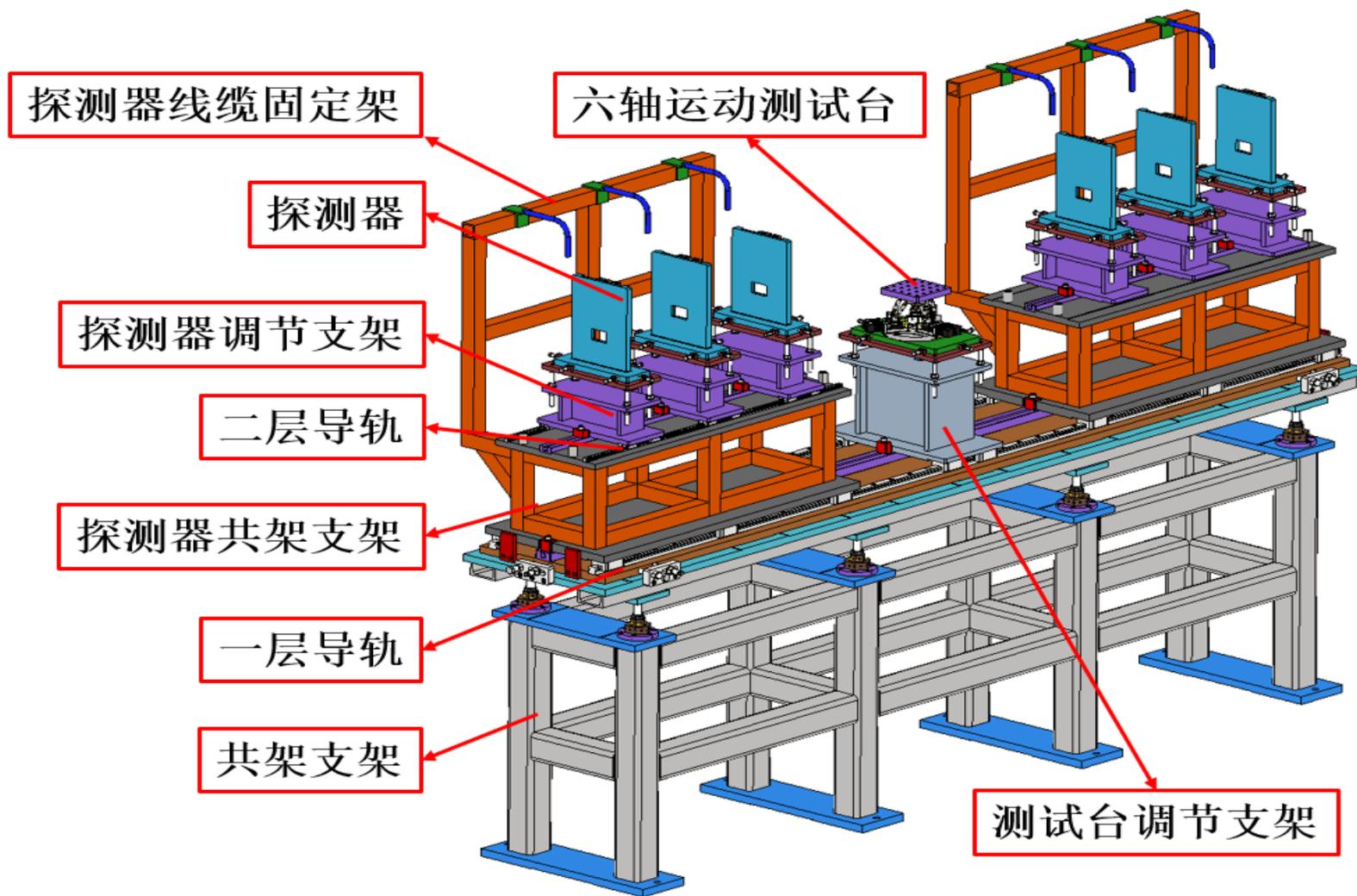


触发扇出板

# 数据重建



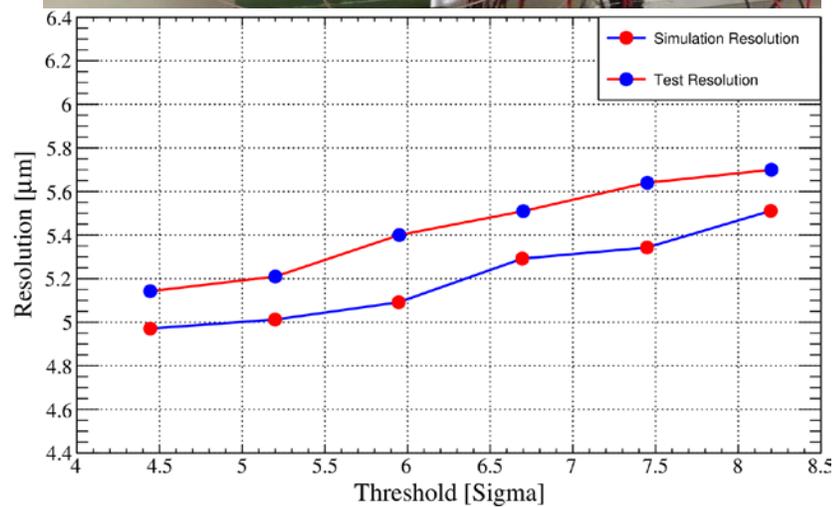
# 支撑机械结构初步设计



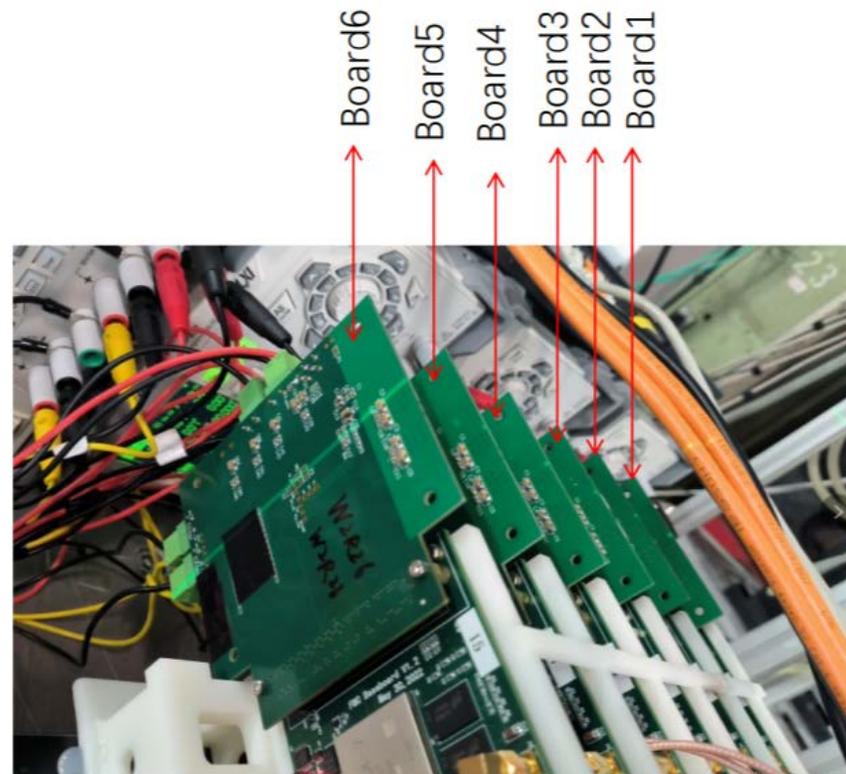
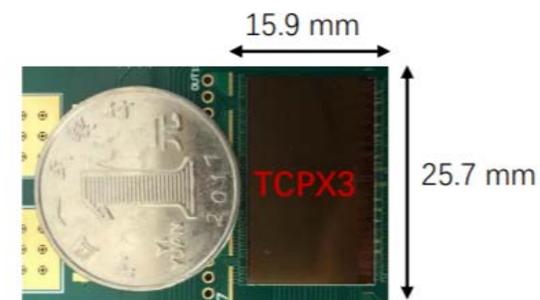
# 相关预研及测试



MIMOSA28



TaichuPix





# 小结

- 进行了质子实验束束流望远镜的初步设计
- 模拟结果显示对于1.6GeV质子束，6层探测器可以实现约 $5\mu\text{A}$ 的空间分辨
- 开始进行关键部件研制

谢谢!