

WFCTA 光电探测器实验室标定 和SiPM阵列装配预研

葛茂茂

2017年1月18日

内容概要

- 实验室标定问题的由来
- 实验室绝对标定系统设计
- 现场绝对标定方案
- SiPM阵列装配工艺预研
- 总结

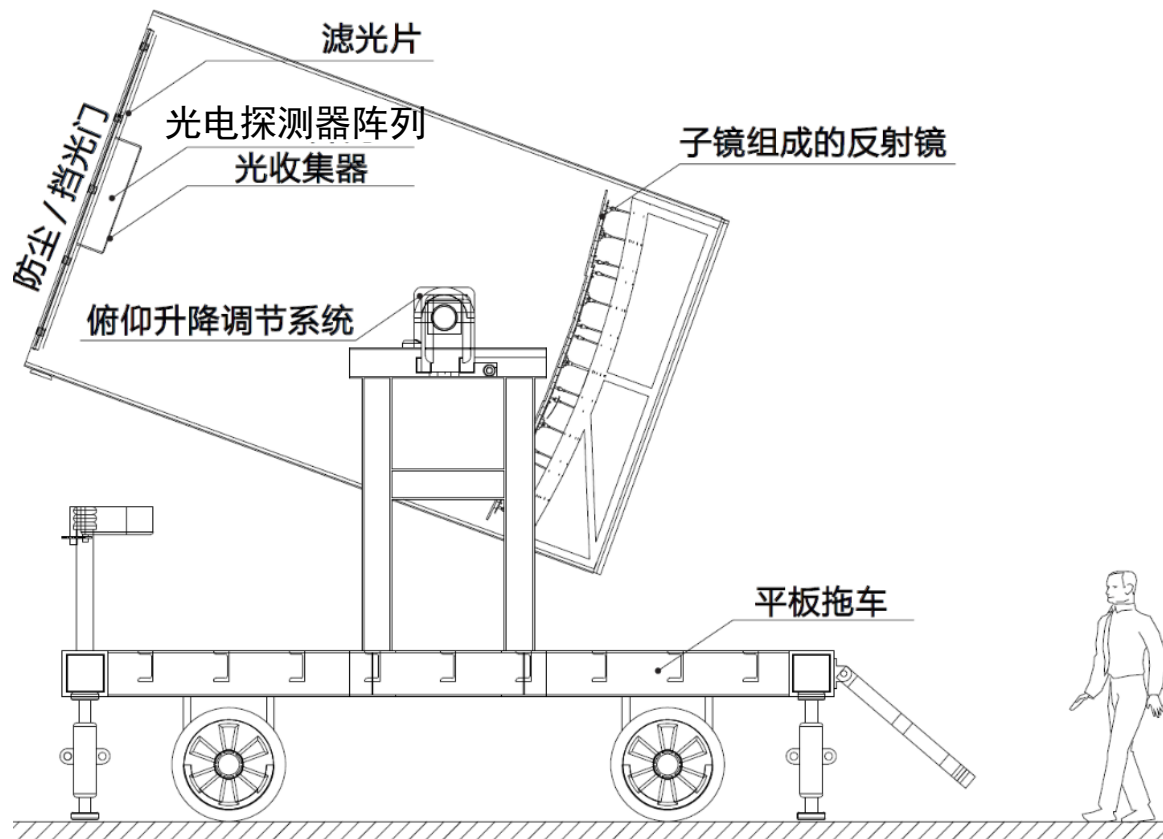
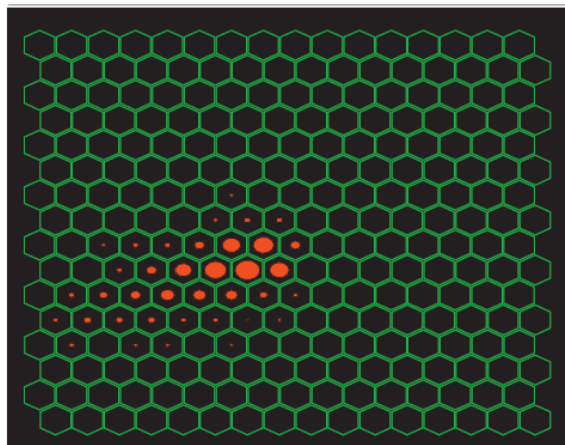
实验室标定问题的由来

- WFCTA通过光电探测器阵列上得到的电信号，估计入射到望远镜的光子数：

$$N_{photons} = A_t Q_{total}$$

$N_{photons}$: 入射总光子数

Q_{total} : 输出总电荷量



实验室标定问题的由来

$$A_t = \frac{N_{photons}}{Q_{total}} = T \cdot A$$

- 现场绝对光子数标定的优势：直接给出比例系数 A_t

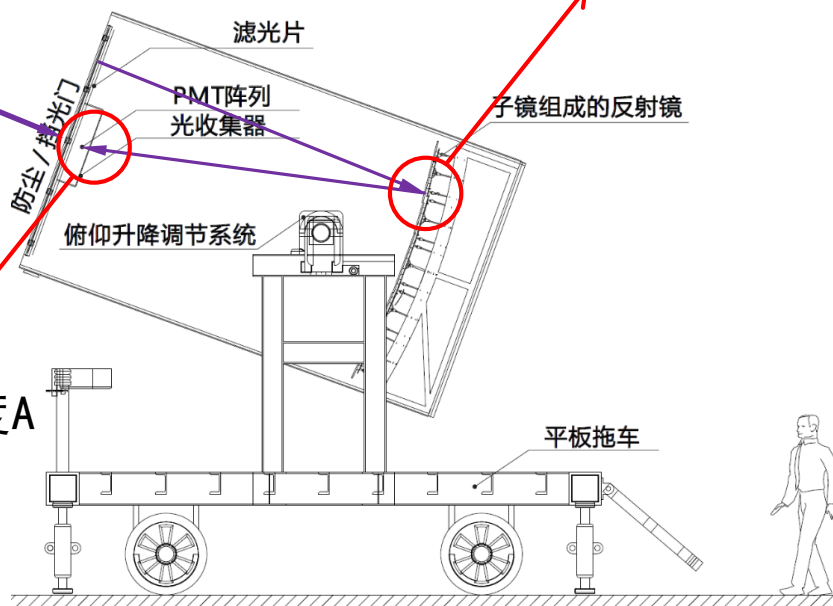
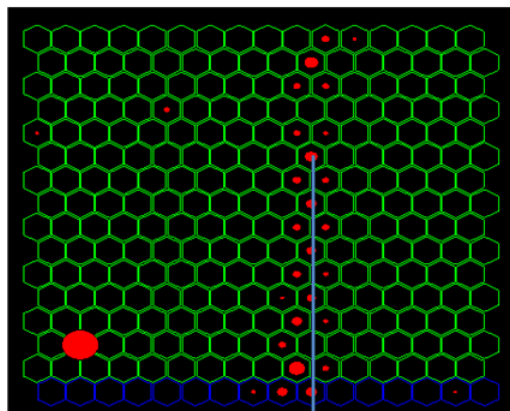
激光

米氏散射?
瑞利散射

$N_{photons} \pm 3\%$

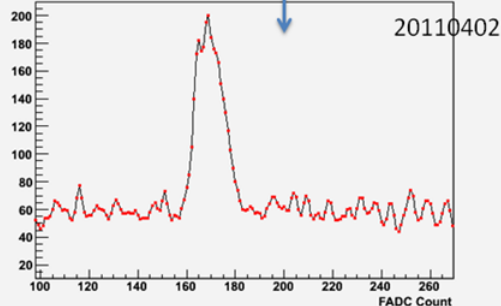
反射镜平均反射率R

20110408 elevation=65 deg.



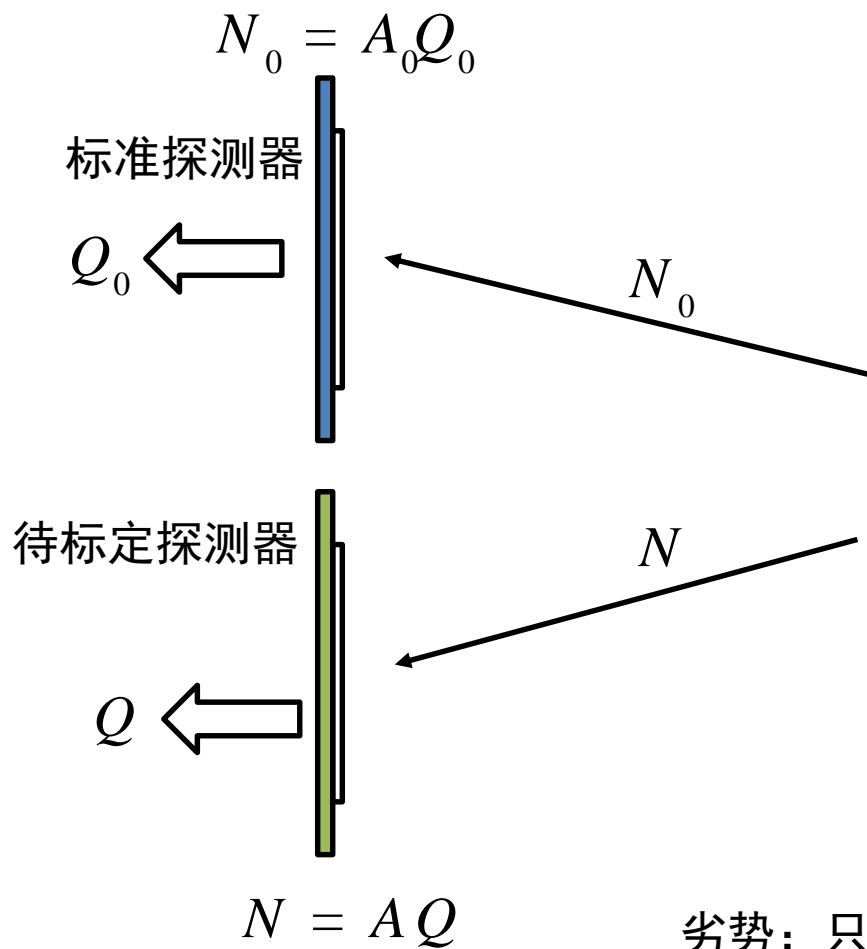
光电探测器
平均光照灵敏度A

滤光板透射率T



实验室标定问题的由来

- 实验室标定的优势：能够给出阵列中每一个光电探测器在特定波长下的阳极光照灵敏度；受环境因素影响较少；如果定期监测反射镜反射率(R)，可以为激光标定提供交叉检验。



标准探测器 A_0 已知：

$$\frac{N_0}{N} = \frac{A_0 Q_0}{A Q}$$

$$A = \frac{N}{N_0} \frac{Q_0}{Q} A_0$$

?

劣势：只能给出探测器的光照灵敏度A

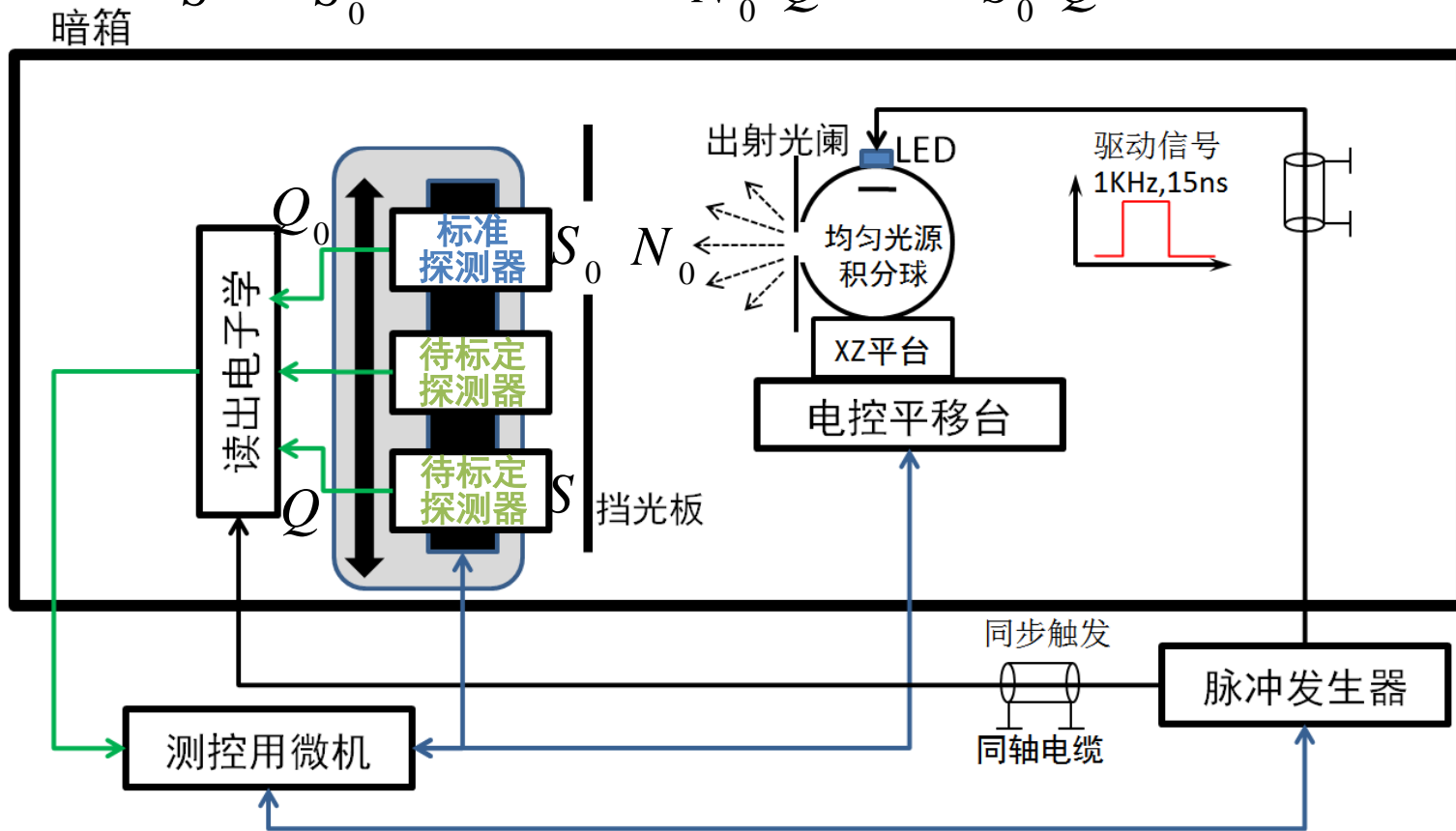
实验室绝对标定系统设计

标准探测器与待标定探测器类型不相同（有效面积不同），例如：标准探测器为PD，待标定探测器为SiPM。

• 方案1:

$$\frac{N}{S} = \frac{N_0}{S_0}$$

$$A = \frac{N}{N_0} \frac{Q_0}{Q} A_0 = \frac{S}{S_0} \frac{Q_0}{Q} A_0$$



优点：有商品化的NIST标准PD可用，成本低。

缺点：引入探测器有效面积的不确定度。

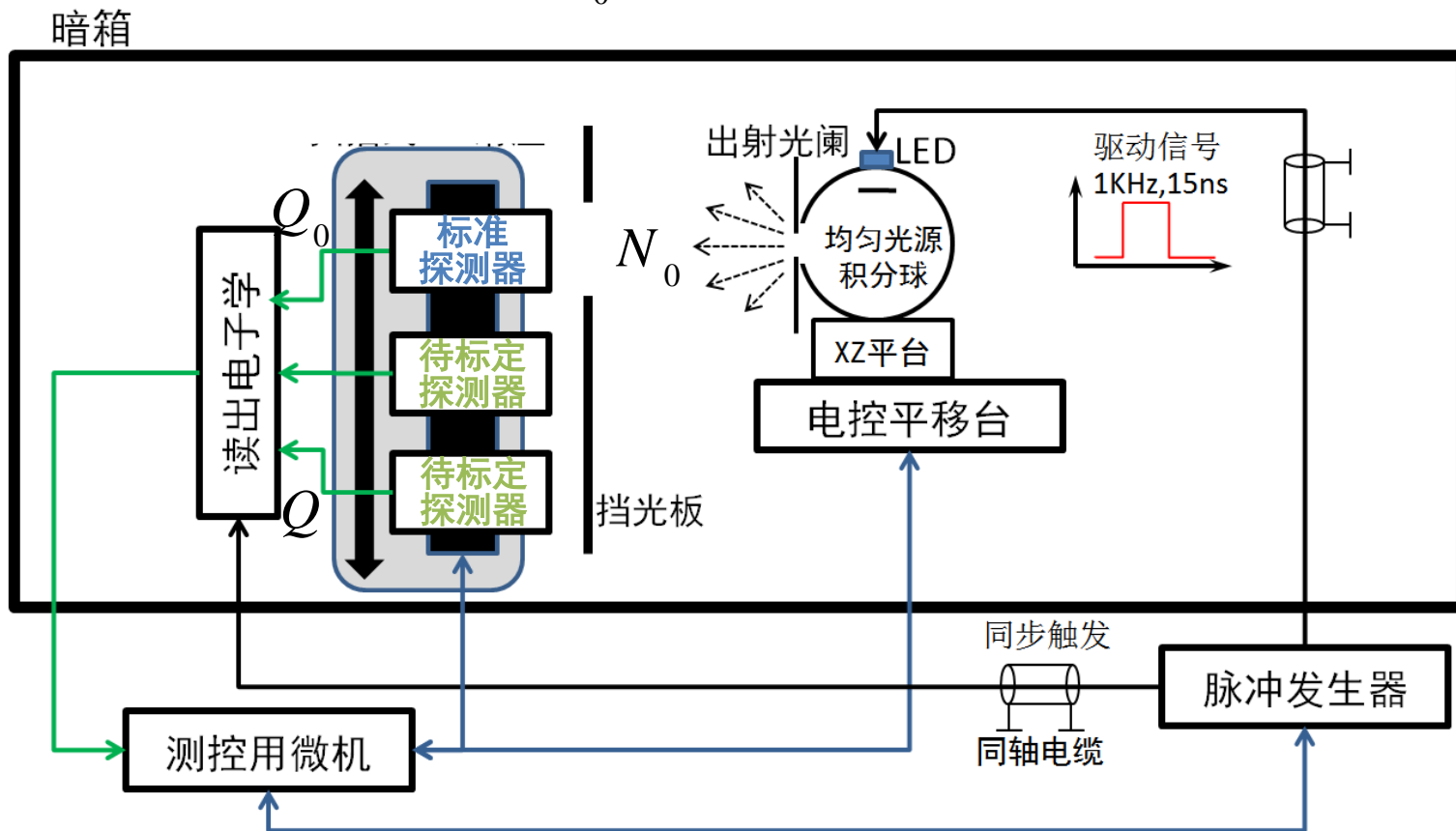
$$u_A = \left(u_{S_0}^2 + u_S^2 + u_{Q_0}^2 + u_Q^2 + u_{A_0}^2 \right)^{1/2}$$

实验室绝对标定系统设计

标准探测器与待标定探测器类型相同，例如：同型号SiPM

• 方案2:

$$N = N_0 \quad A = \frac{N}{N_0} \frac{Q_0}{Q} A_0 = \frac{Q_0}{Q} A_0 \quad u_A = \left(u_{Q_0}^2 + u_Q^2 + u_{A_0}^2 \right)^{1/2}$$



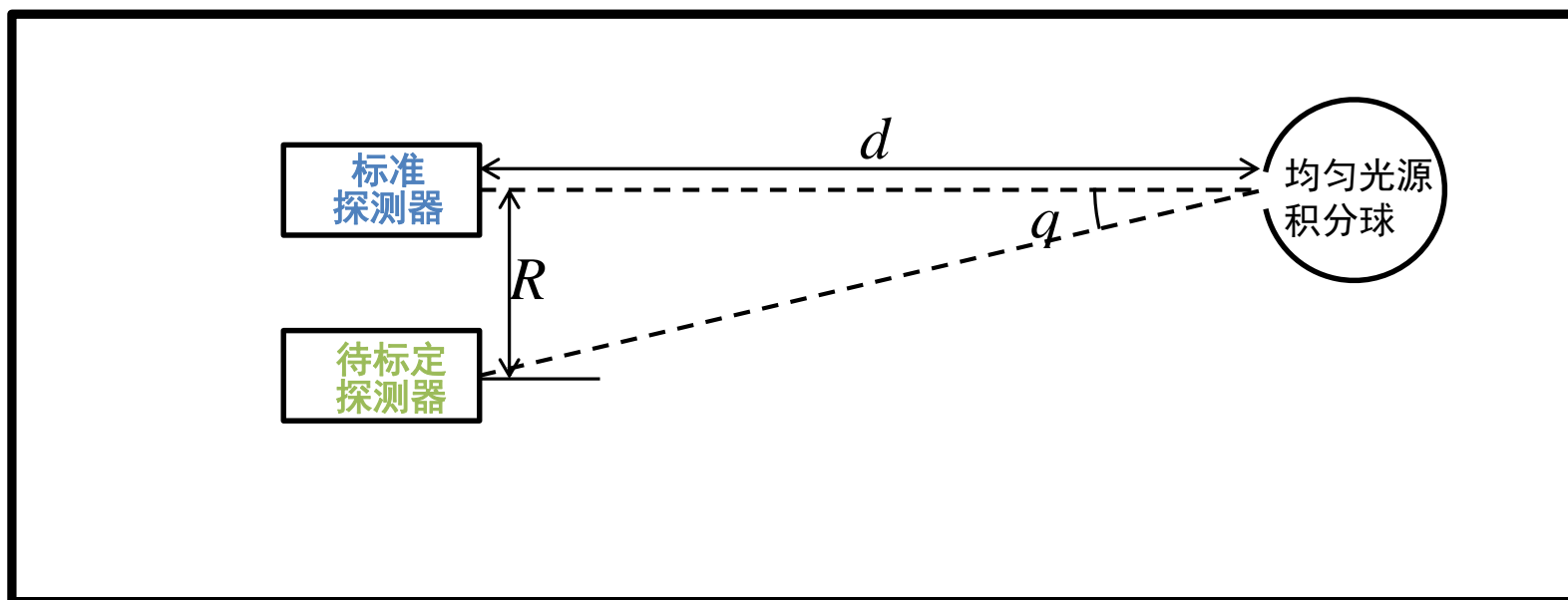
优点：引入的额外系统不确定度较少。

缺点：标准探测器需要在计量机构定制标定服务。

实验室绝对标定系统设计

- 方案3:

$$N = \cos^4 q N_0 = \frac{d^4}{(d^2 + R^2)^2} N_0 \quad A = \frac{N}{N_0} \frac{Q_0}{Q} A_0 = \frac{d^4}{(d^2 + R^2)^2} \frac{Q_0}{Q} A_0$$



优点：系统结构简单。

缺点：

精度取决于光源与理想朗伯体特性的偏差。

引入两个距离测量的不确定度。

$$u_A = \frac{4R^2}{d^2 + R^2} \left(u_d^2 + u_R^2 \right) + u_{Q_0}^2 + u_Q^2 + u_{A_0}^2$$

实验室绝对标定系统设计

- 两种方案的合成相对标准不确定度预算

方案1: $u_A = \left(u_{S_0}^2 + u_S^2 + u_{Q_0}^2 + u_Q^2 + u_{A_0}^2 \right)^{1/2}$ 方案2: $u_A = \left(u_{Q_0}^2 + u_Q^2 + u_{A_0}^2 \right)^{1/2}$

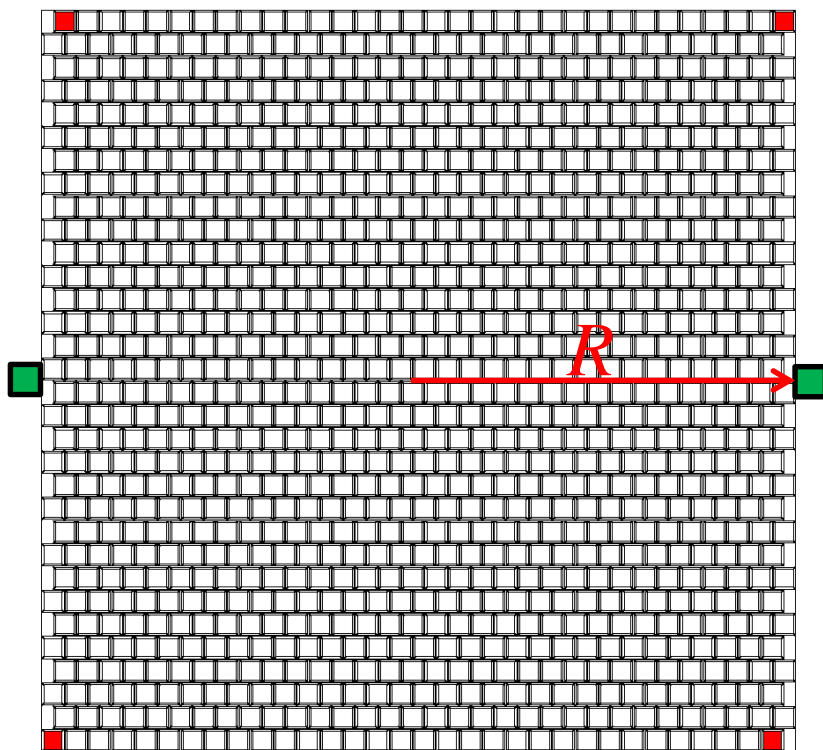
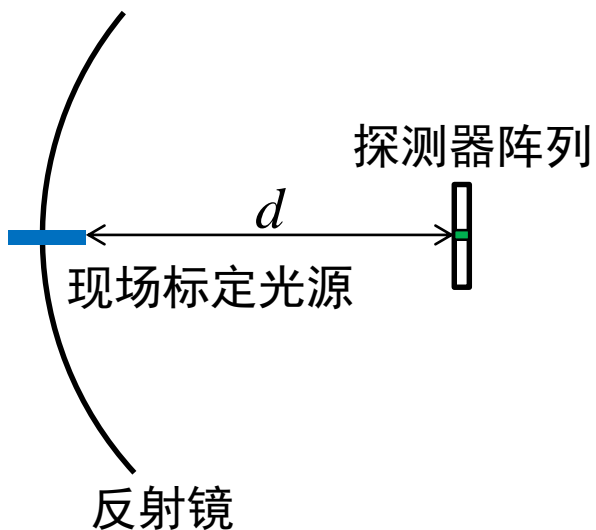
参数	相对统计不确定度	相对系统不确定度	合成相对不确定度
Q ₀	±0.1%	±3.0%	±1.74%
Q	±0.1%	±3.0%	±1.74%
A ₀	----	±5.0%	±2.89%
S ₀	----	±1.0%	±0.58%
S	----	±1.0%?	±0.58%
d	±0.1%	±0.2%	±0.15%
R	±0.1%	±1.7%	±0.99%
方案1	±0.14%	±6.7%	±3.9%
方案2	±0.14%	±6.6%	±3.8%
方案3	±0.14%	±6.6%	±3.8%?

方案3: $u_A = \sqrt{\frac{4R^2}{d^2 + R^2} (u_d^2 + u_R^2) + u_{Q_0}^2 + u_Q^2 + u_{A_0}^2}$

现场绝对标定系统

实验室中，标定右图所示的4个探测器(红色)，作为现场相对光子数标准。

在观测现场，定期将上述4个探测器的信号与临时安装的现场标准探测器(绿色)信号进行比较，获得光子数绝对标准。



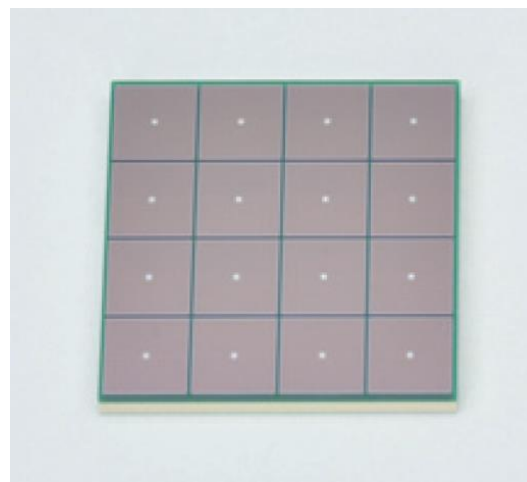
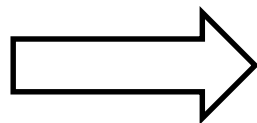
探测器阵列布局图

$$A = \frac{d^4}{(d^2 + R^2)^2} \frac{Q_0}{Q} A_0$$

SiPM阵列装配工艺预研



PMT

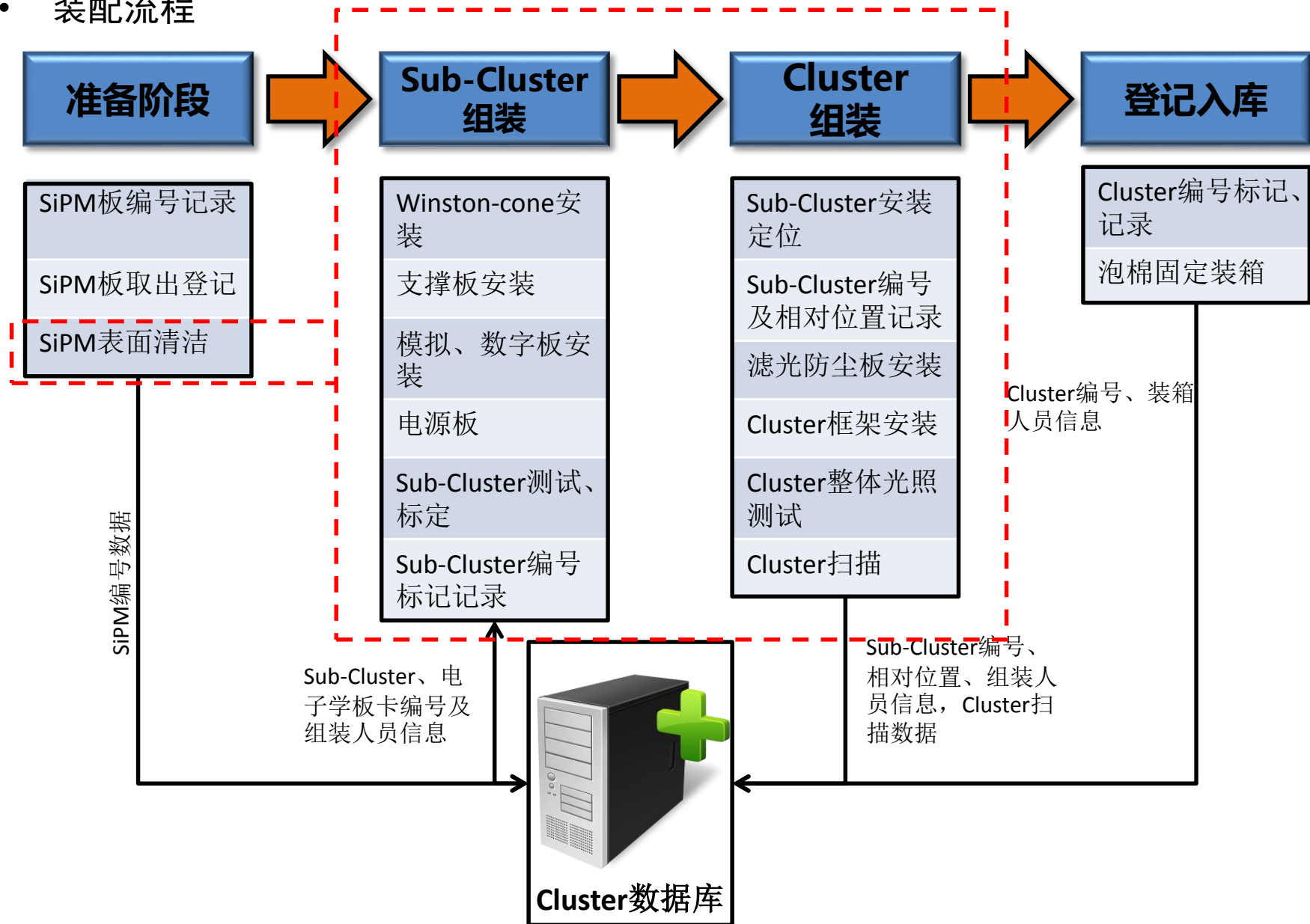


Silicon PM (MPPC)

SiPM阵列装配工艺预研

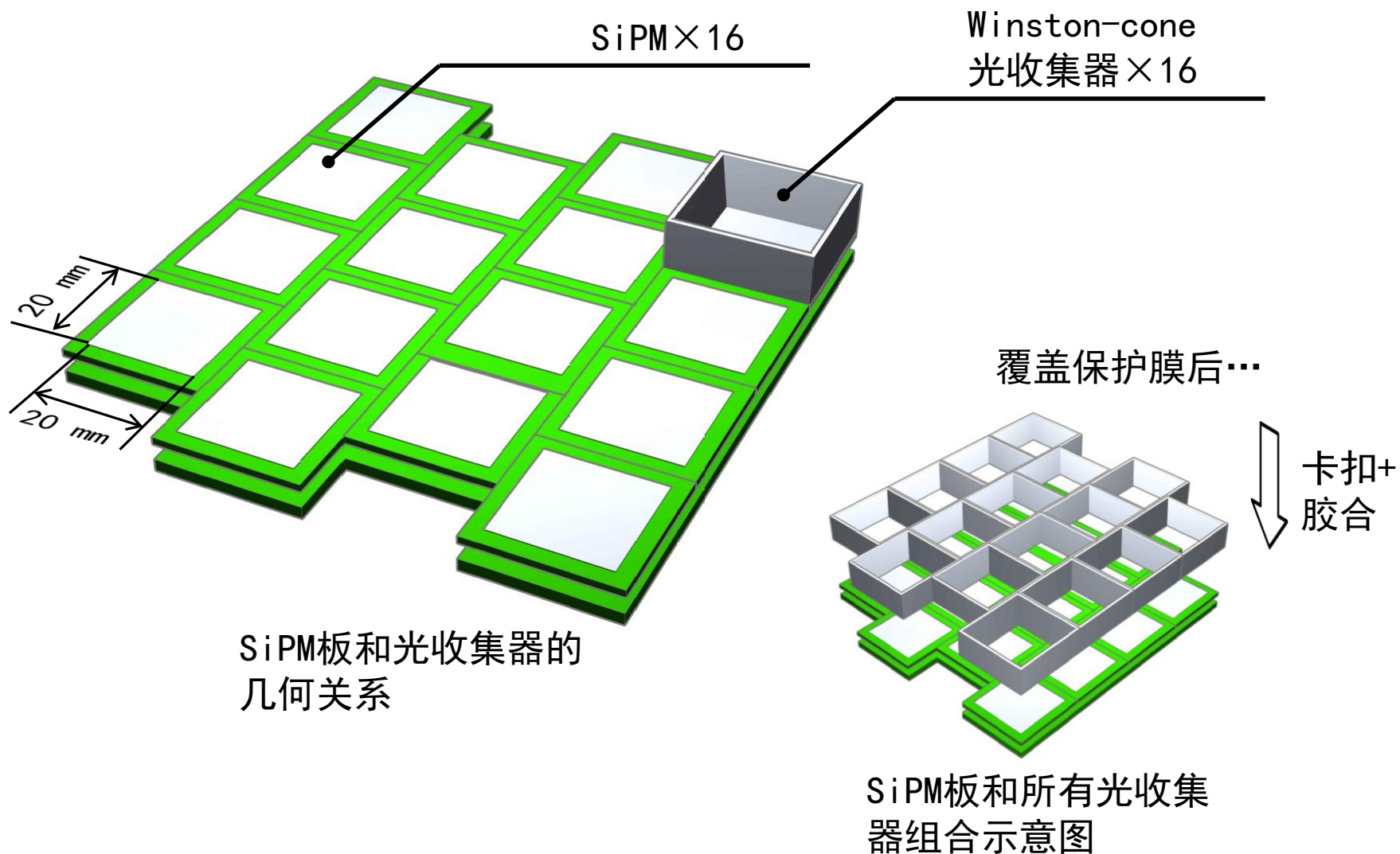
超净间内完成

• 装配流程



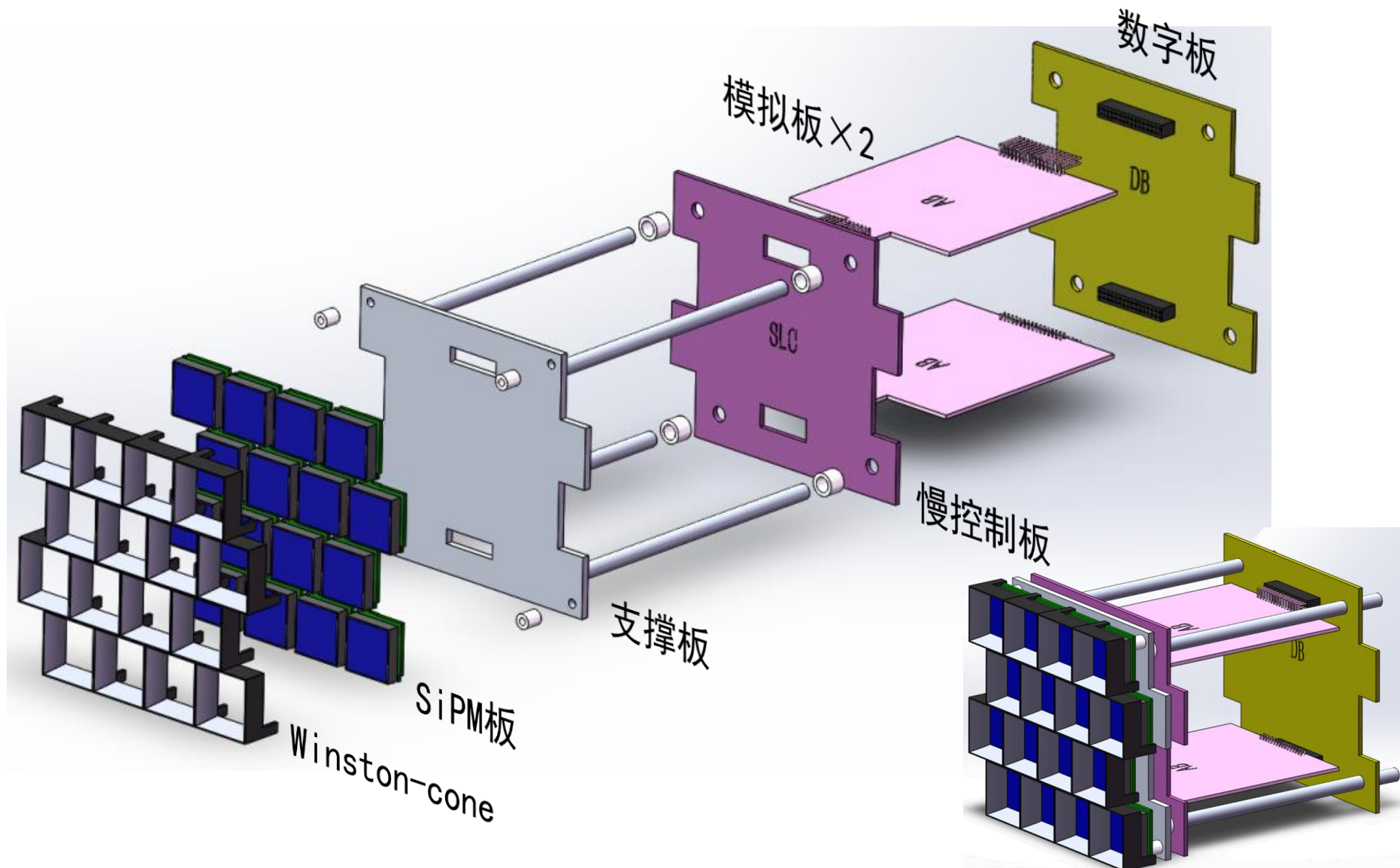
SiPM阵列装配工艺预研

Sub-Cluster 装配第一步：SiPM板与Winston-cone光收集器的组合



SiPM阵列装配工艺预研

- Sub-Cluster 组装第二步：SiPM板与电子学及支撑框架的组装



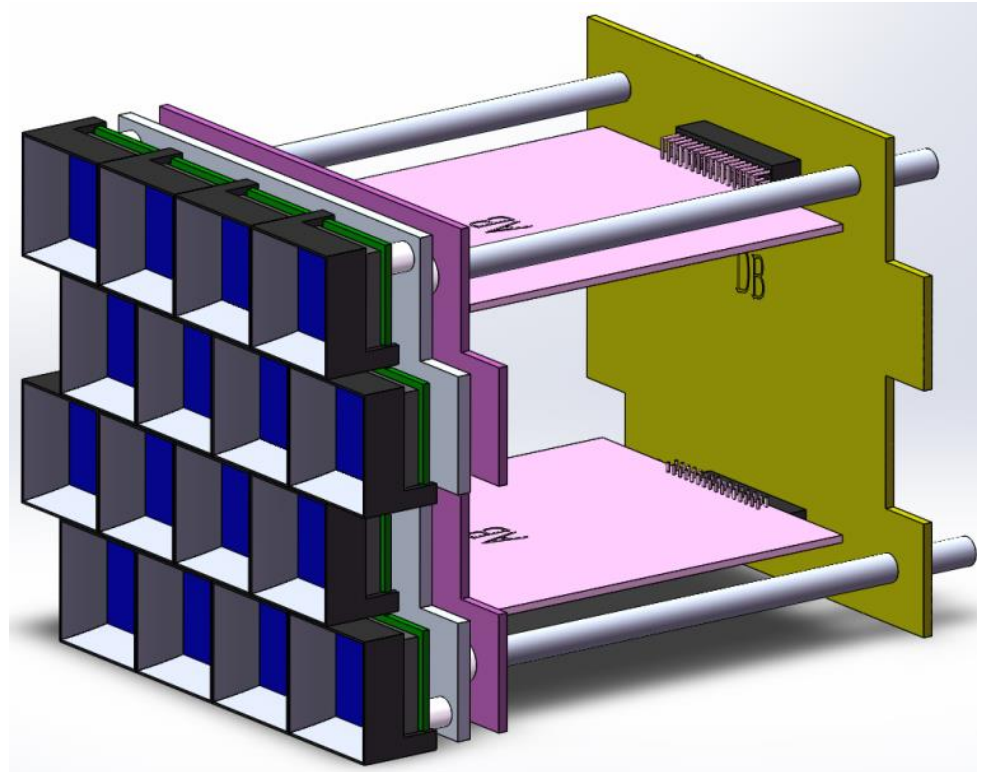
SiPM阵列装配工艺预研

- Sub-Cluster 组装第三步：Sub-Cluster 测试

1. 去掉Winston-cone表面的保护膜；

2. 将Sub-Cluster 安装在测试系统支架内，进行整体光照、电压-增益特性、线性动态范围测试，对部分SiPM进行绝对标定。

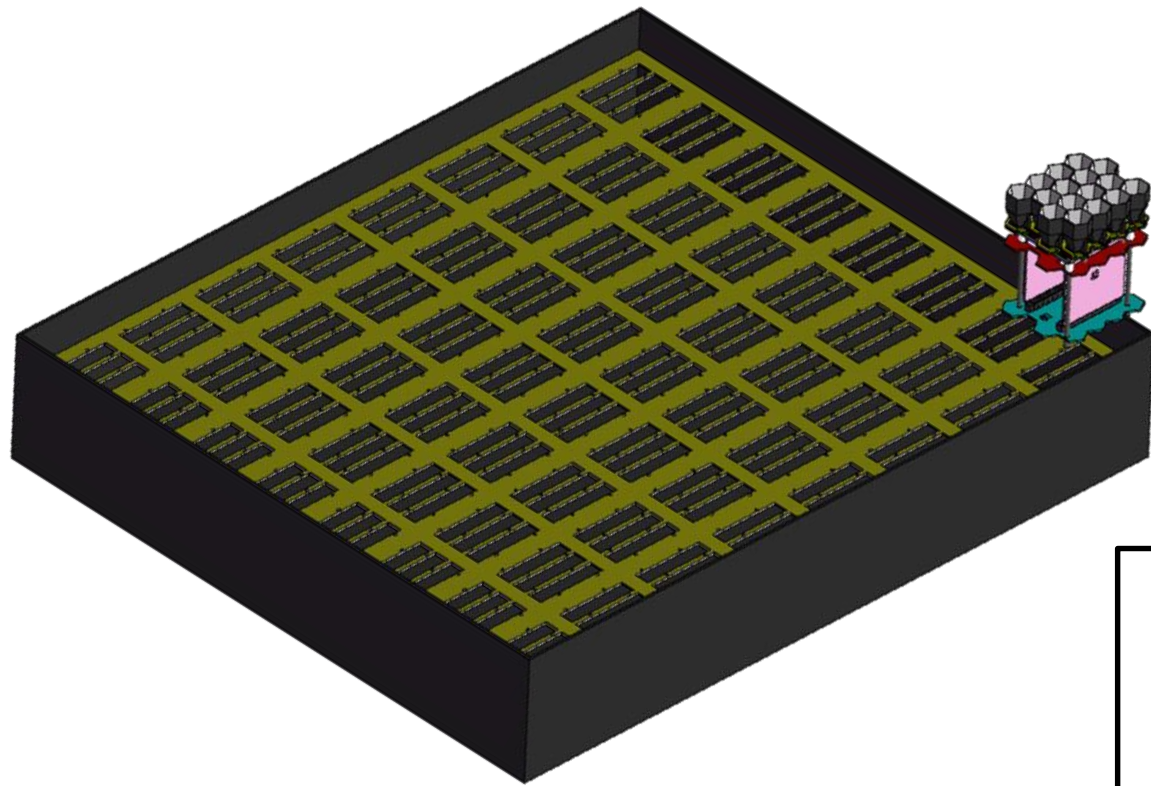
3. 测试完成后重新贴上保护膜，以便组装。



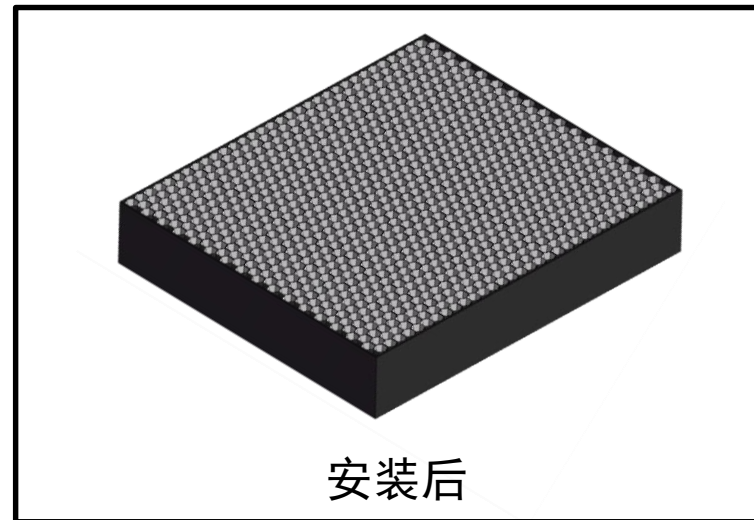
暗箱

SiPM阵列装配工艺预研

- Cluster组装第一步：Sub-Cluster安装

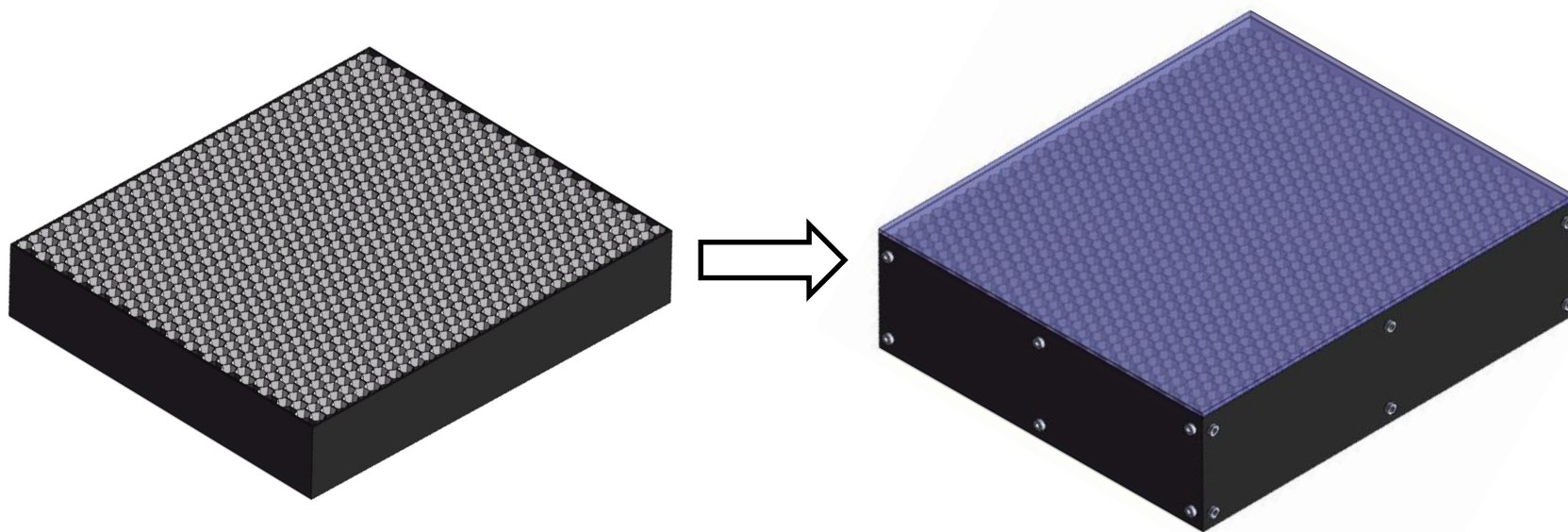


64 × Sub-Cluster



SiPM阵列装配工艺预研

- Cluster组装第二步：滤光防尘片安装



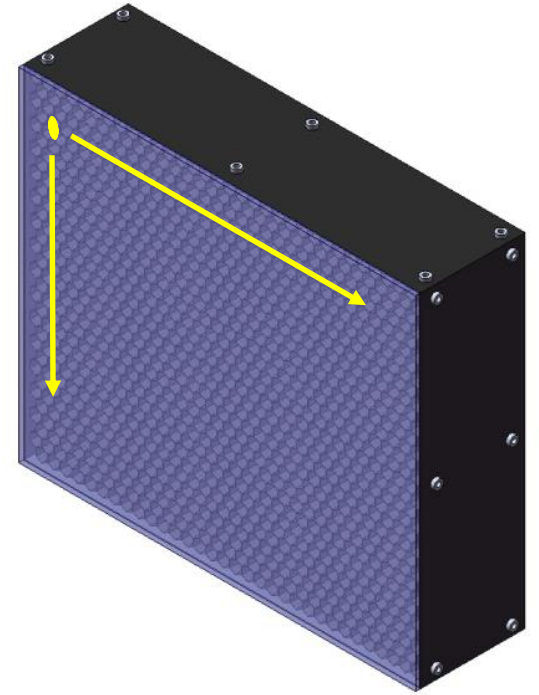
1. 去掉Sub-Cluster表面保护膜;
2. 安装防尘、滤光片.

SiPM阵列装配工艺预研

- Cluster 组装第三步：Cluster 整体光照测试和扫描

1. 将Cluster置入暗室，对其进行整体光照测试，记录每个通道输出信号。以便将其和未安装滤光、防尘板之前的数据进行对比。

2. 用光斑扫描整个Cluster，给出其空间一致性。



总结

- 1. 根据典型测试条件，完成了实验室标定方案设计。明年8月之前实现该标定系统。
- 2. SiPM阵列装配流程中的主要工艺步骤基本确定，部分技术细节还在进一步改进。
- 3. 下一步，要针对SiPM的装配展开工装模具、支架设计。

- 谢谢大家！

欢迎大家到云南大学