



CMS-GEM探测器的批量生产 和质量控制

梁子寒, 北京大学
2018-06-28

目录

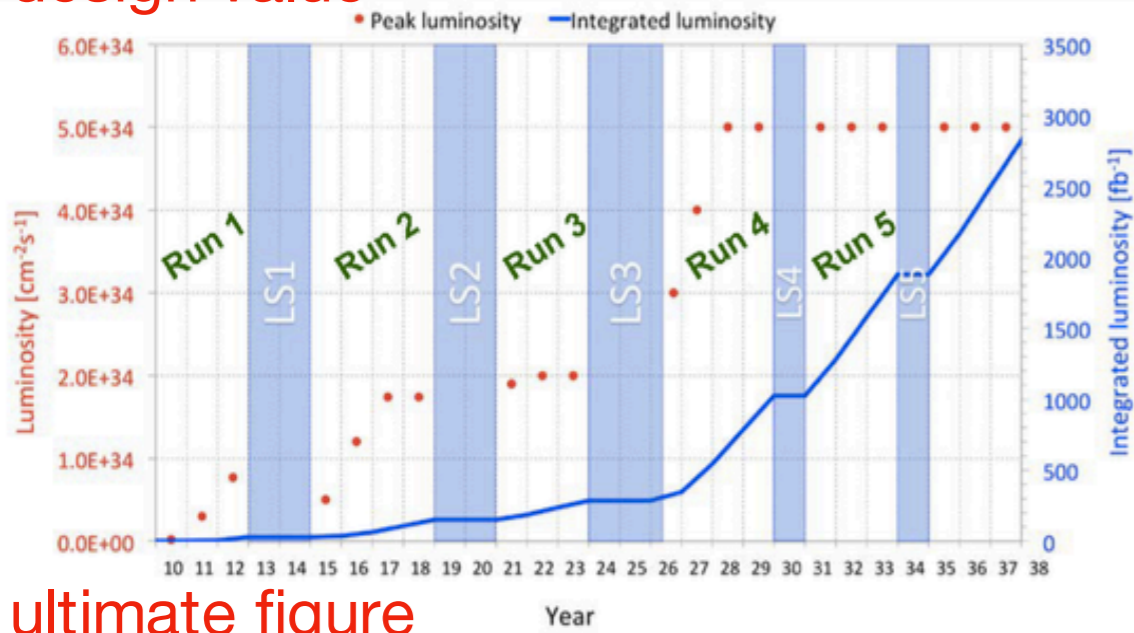
- 1 CMS升级计划与GEM探测器
- 2 GEM探测器组装与质量控制（QC）流程
- 3 北京大学Production Site的建设
- 4 总结

1

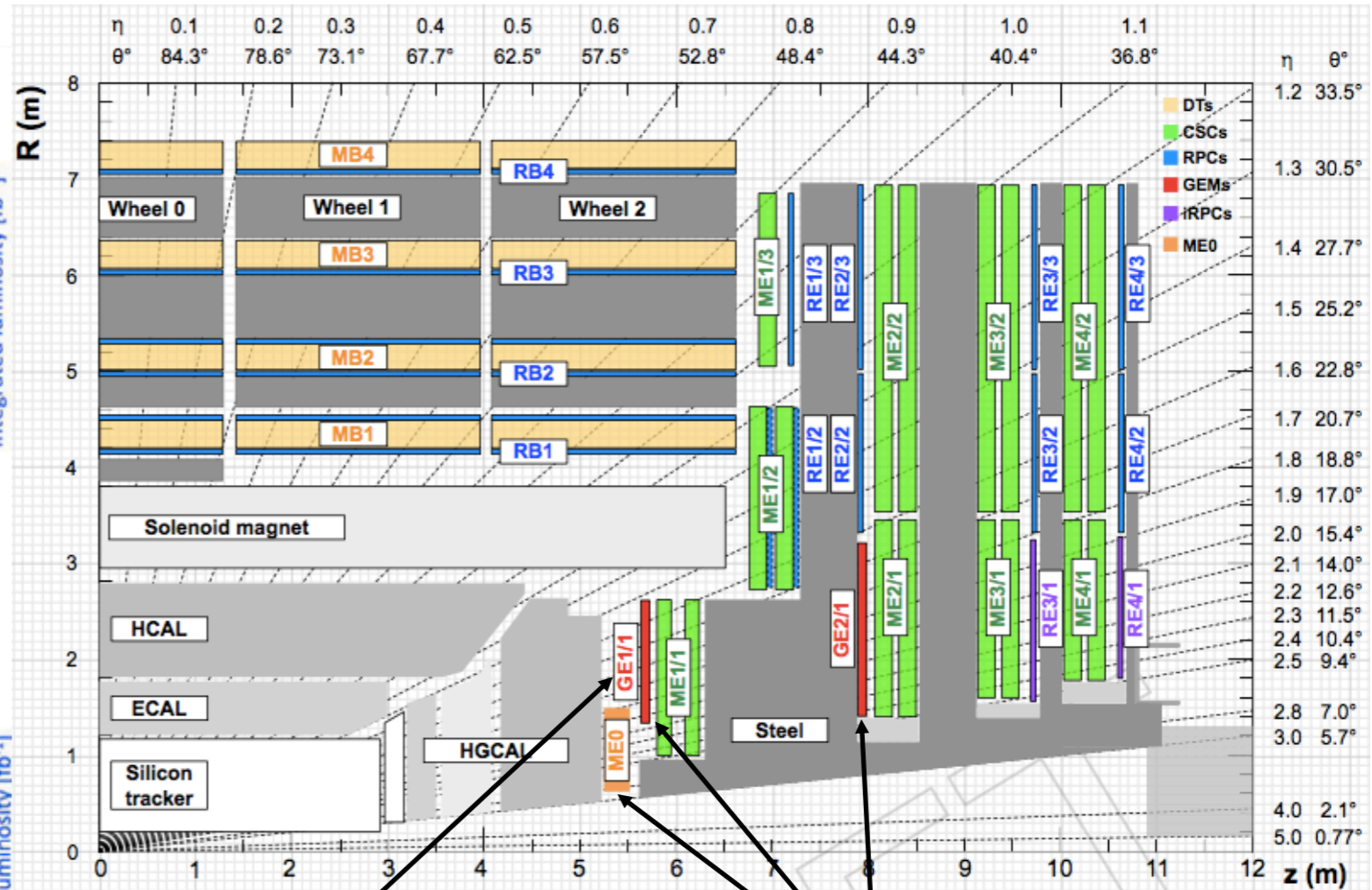
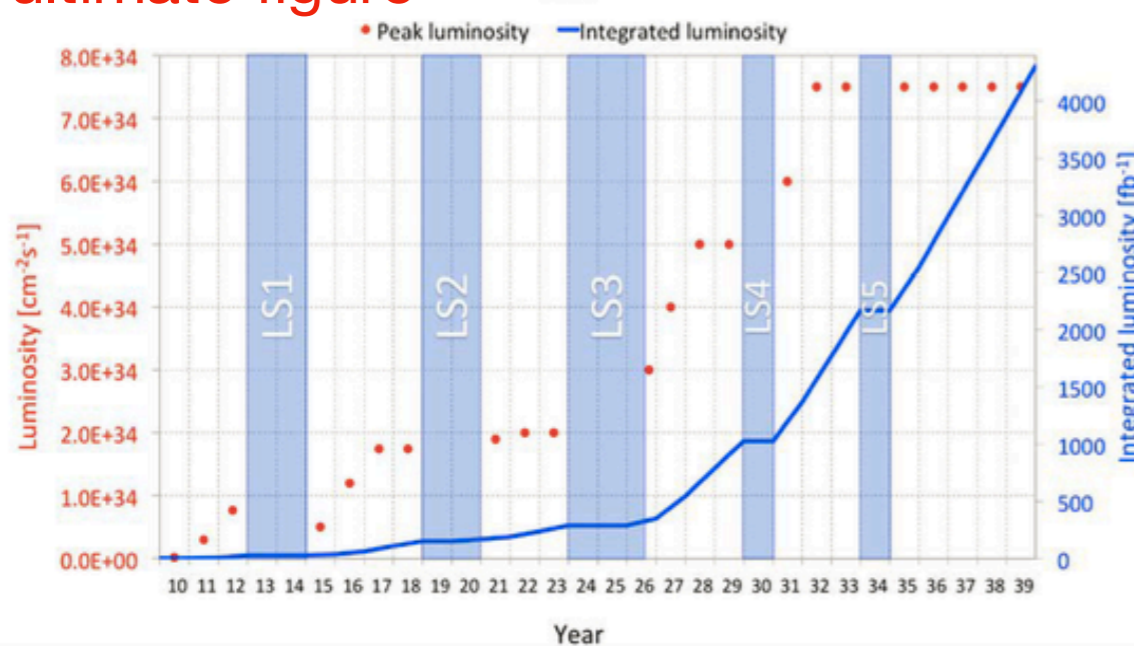
CMS升级与GEM探测器

CMS升级与GEM探测器

design value



ultimate figure

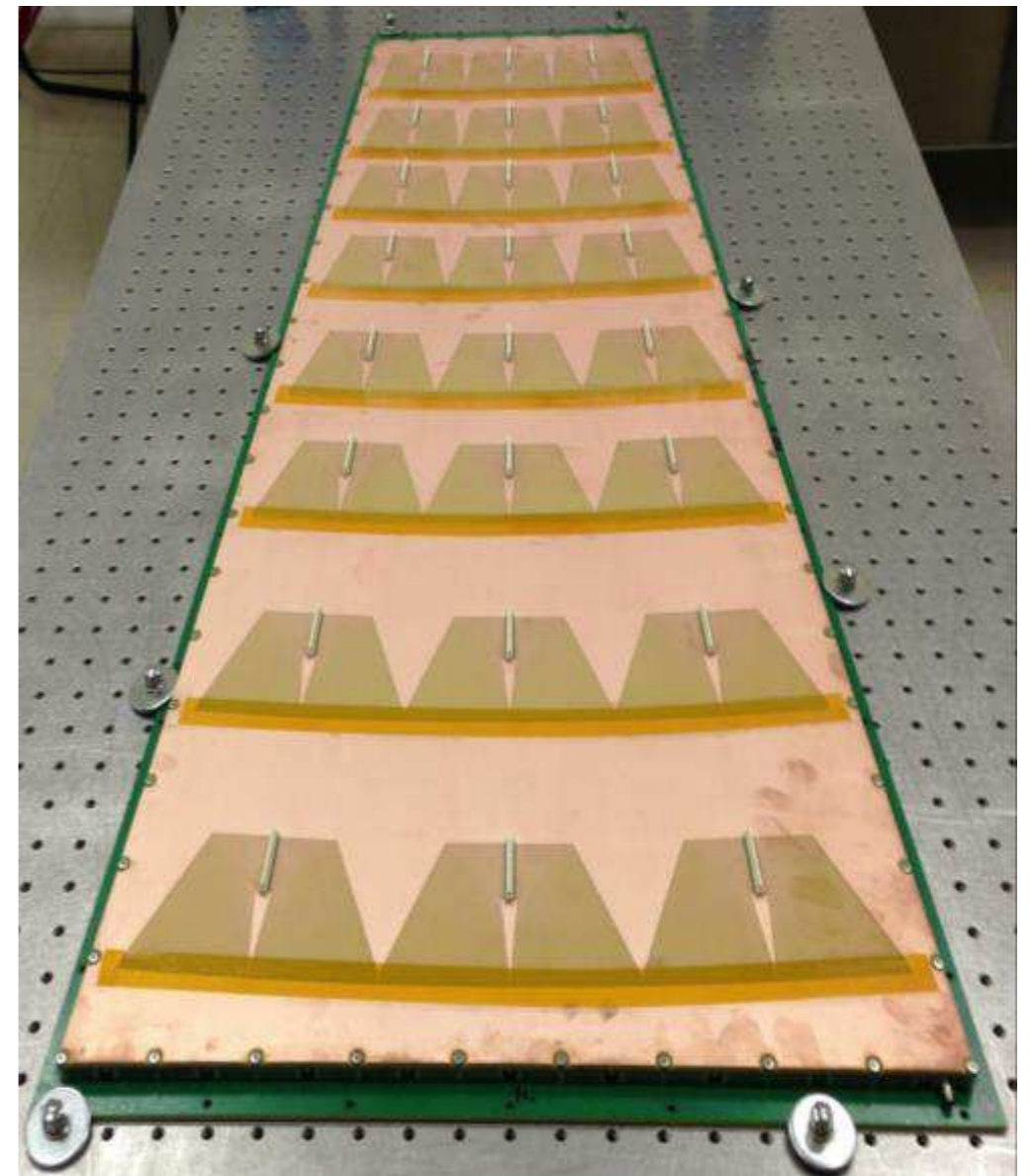
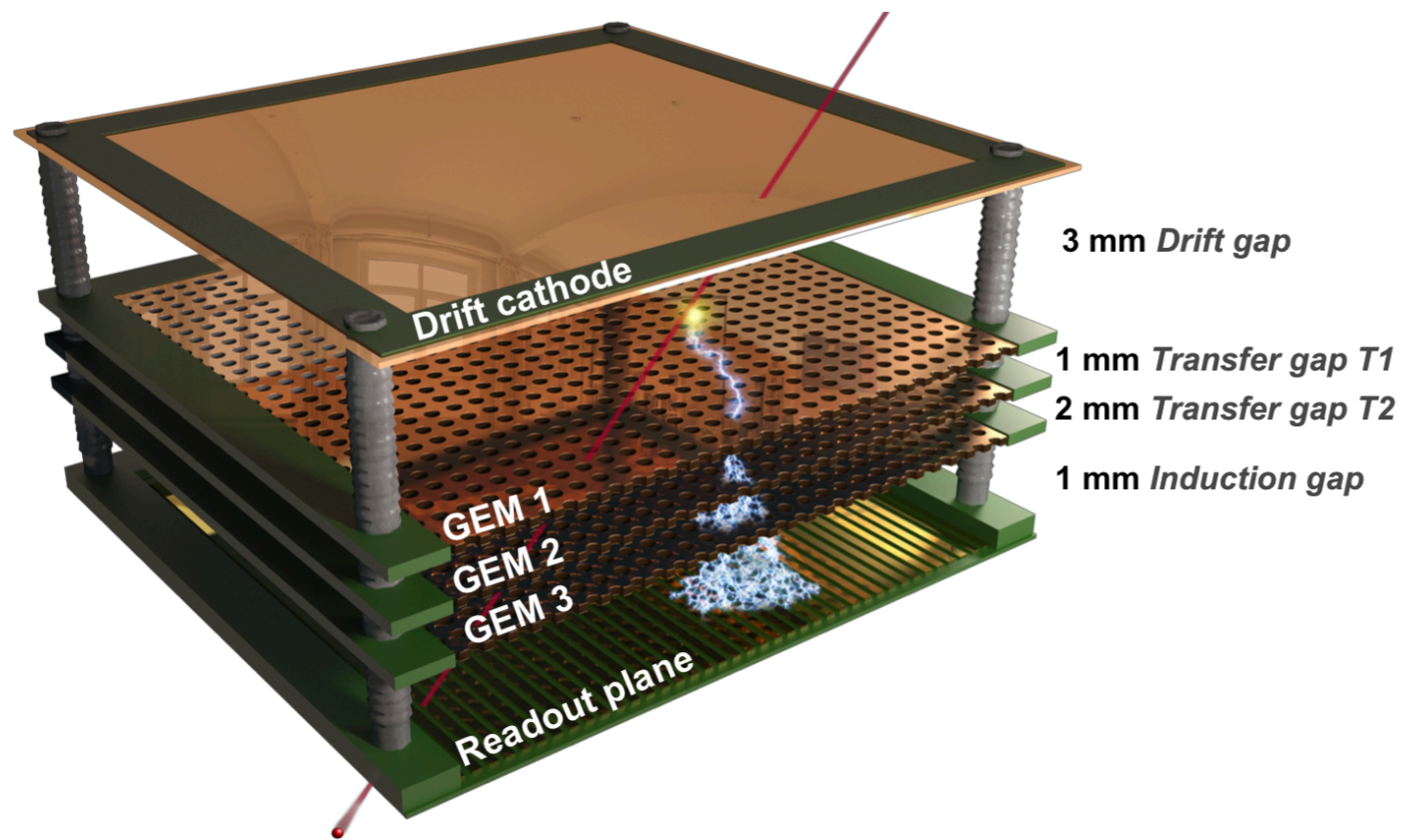


GE1/1已经先行装配了5个GEM探测器
super chamber作为试验

ME0,GE1/1,GE2/1
选用triple-GEM探测器

CMS升级与GEM探测器

CMS-GEM探测器结构: triple GEM



GE1/1原型实物图

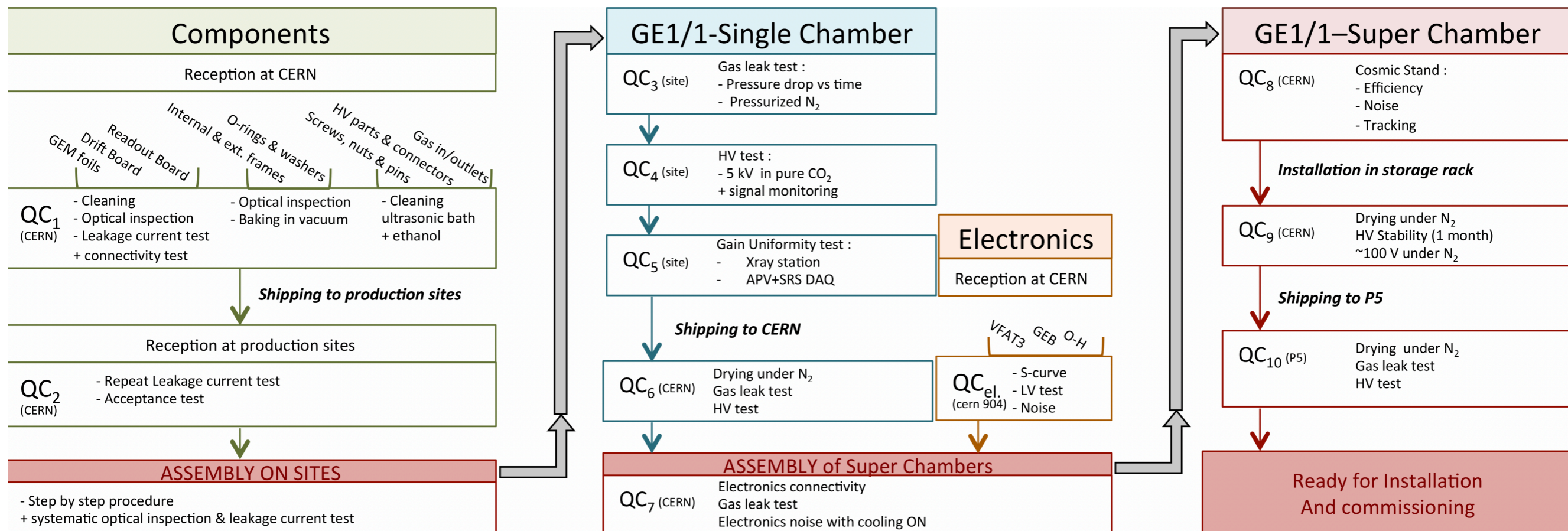
用三层GEM膜组成探测器，总放大倍数可达 10^6 ,计数率可达 $1\text{MHz} / \text{mm}^2$

2

GEM探测器组装与QC流程

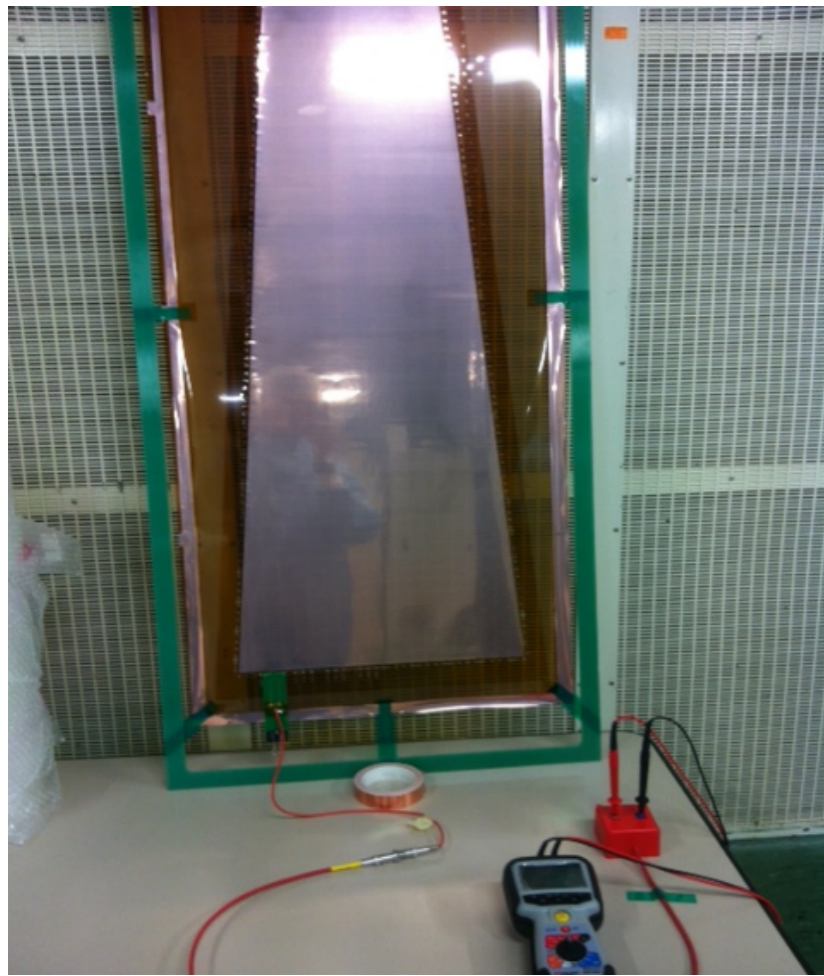
GEM探测器组装与QC流程

- CMS-GEM探测器分别在CERN及几个production sites生产，最后在CERN组装成Super Chamber，并安装到CMS上。
- CMS-GEM组为批量生产探测器设立了严格质量控制步骤（QC1-QC9）；
- 其中QC2-5以及Single Chamber的组装在CERN或production sites进行，QC1，QC6-QC8以及Super Chamber的组装都在CERN进行。



GEM探测器组装与QC流程

QC1: GE1/1的GEM膜在CERN生产，QC1 GEM膜检测也在CERN进行



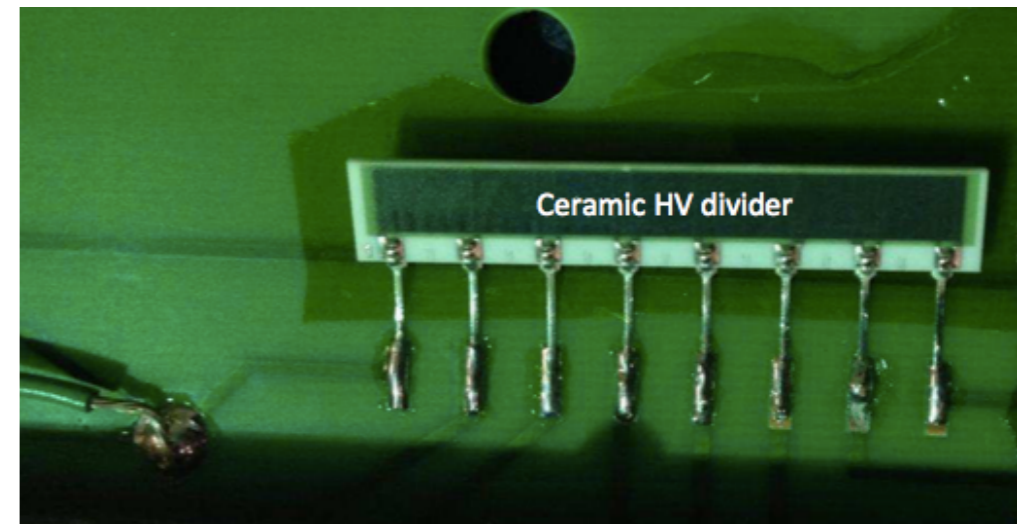
(该图来自QC2)

GEM膜

- (1) 光学检测有无瑕疵、划痕等。
- (2) 用超声波和氮气吹扫对膜进行清洁。
- (3) 给膜加高压至500V进行快速检测，要求漏电流不大于30nA，并测量阻抗。

HV divider

对于每一个引脚测量I-V曲线以确定阻值。



(该HV divider已装配)

GEM探测器组装与QC流程

QC1 in CERN

漂移极PCB板

- (1) 光学检测有无瑕疵、划痕等。
- (2) 用氮气吹扫对膜进行清洁。
- (3) 给漂移极逐步加高压观察有无打火并测量阻抗有无变化。

读出板

用专门的连接器进行连通性测试。

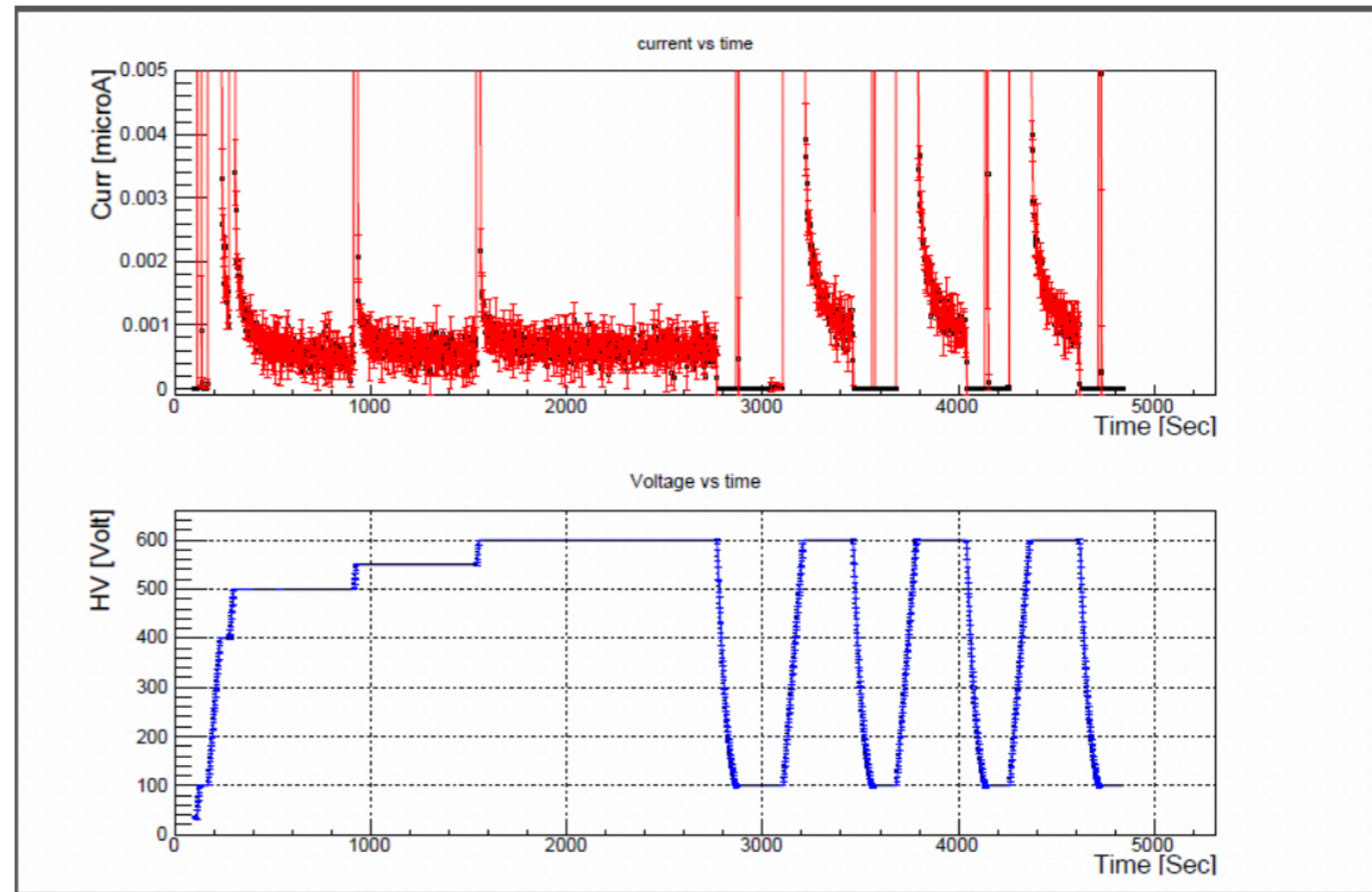
GEM探测器组装与QC流程

QC2 in production site

重复QC1的所有流程以确定从CERN到site的运输过程没有对各组件造成损坏。

此外对GEM膜进行长时间检测：

- (1) 将GEM膜放进氮气箱并通氮气，等待湿度下降到7%以下。
- (2) 逐步加高压至600V，出现打火现象则降低电压，过一段时间再升高。
- (3) 电压加到600V后停留约20min直到没有打火现象出现。



一次QC2长时间检测的电压电流变化

- (4) 用预设的配置文件控制高压插件，并测量箱体的温度湿度等信息。

GEM探测器组装与QC流程

Single Chamber组装 (clean room)

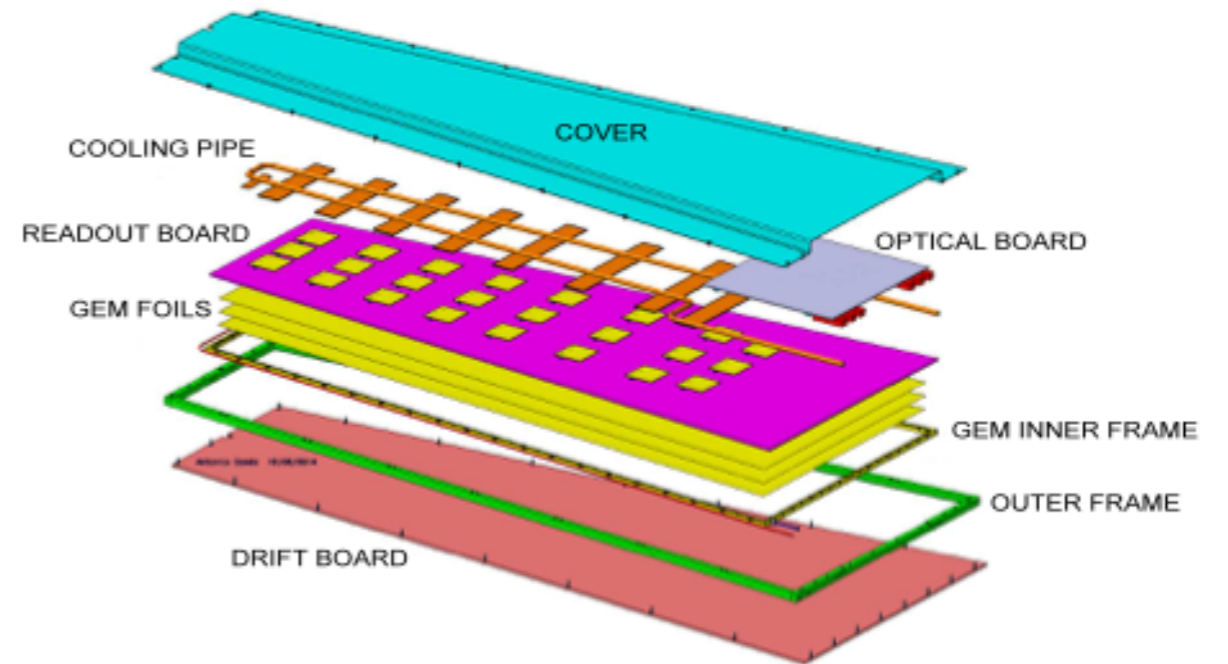
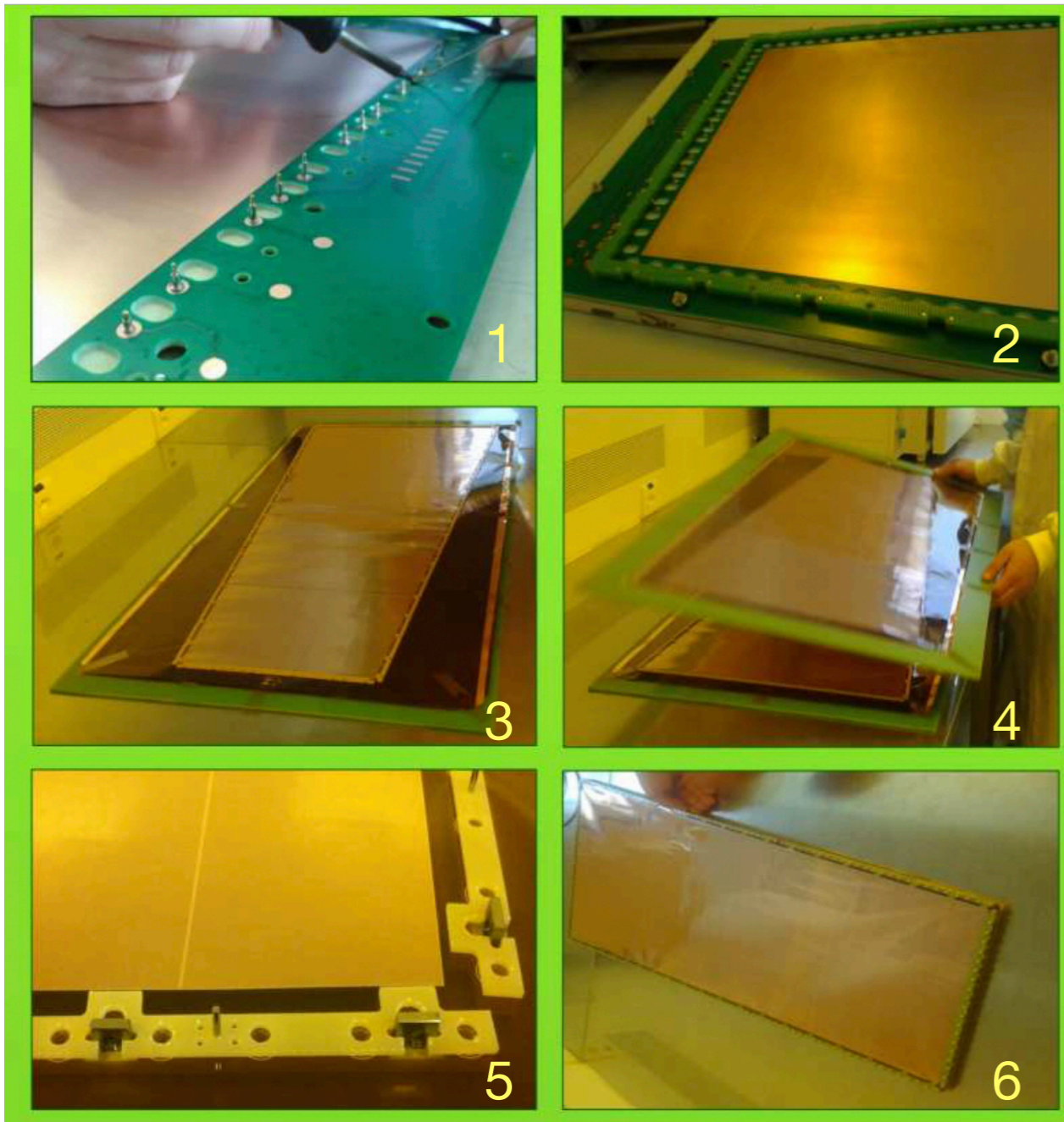
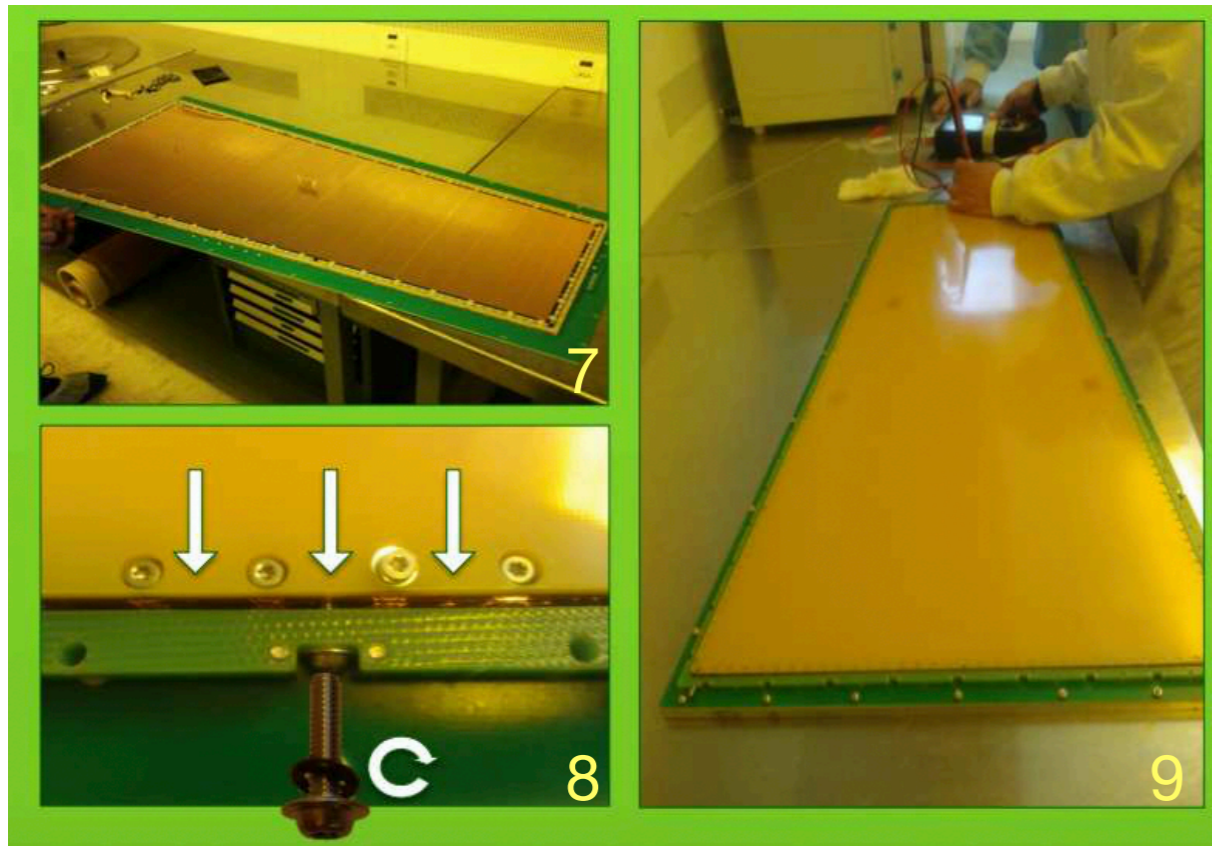


Figure 2.38: Exploded view of the mechanical design of a single GE1/1 chamber.

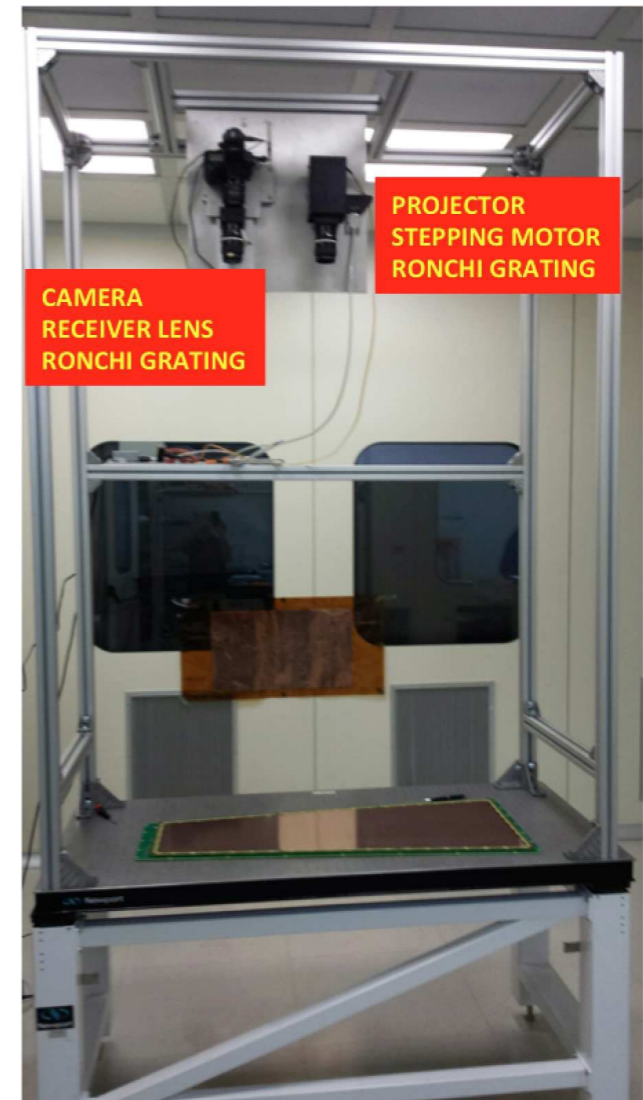
- (1) 准备漂移极，将HV divider和供电用的弹簧连接器焊接好，并清洁漂移电极；
- (2) 安装外框架；
- (3-4) 将GEM膜和内框架装在一起；
- (5) 安装张紧用的螺丝；

GEM探测器组装与QC流程

Single Chamber组装



- (6-7) 将装好的GEM膜与内框架装在漂移极板上；
(8) 用螺丝将GEM膜张紧；
(9) 将读出板安装上去。



可用激光干涉方法检测膜的平整度

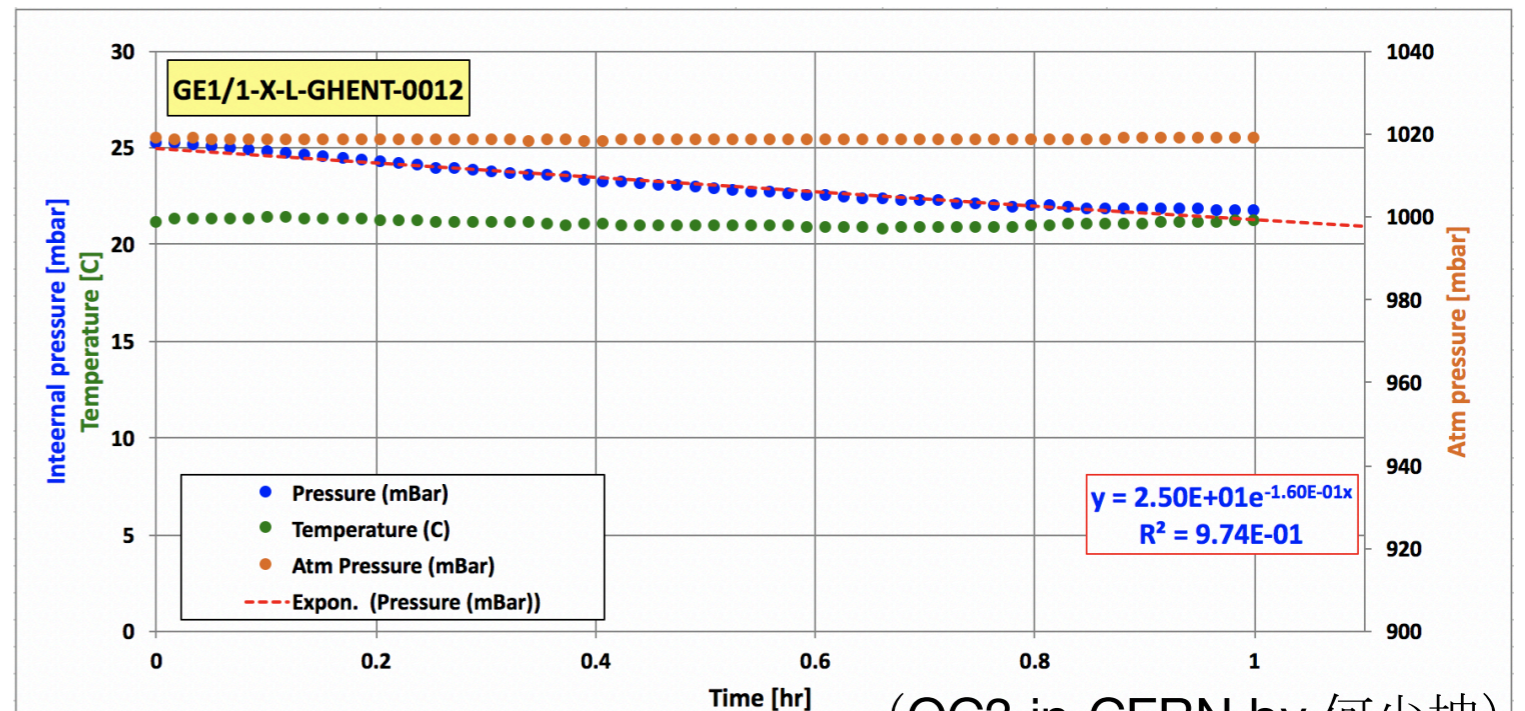
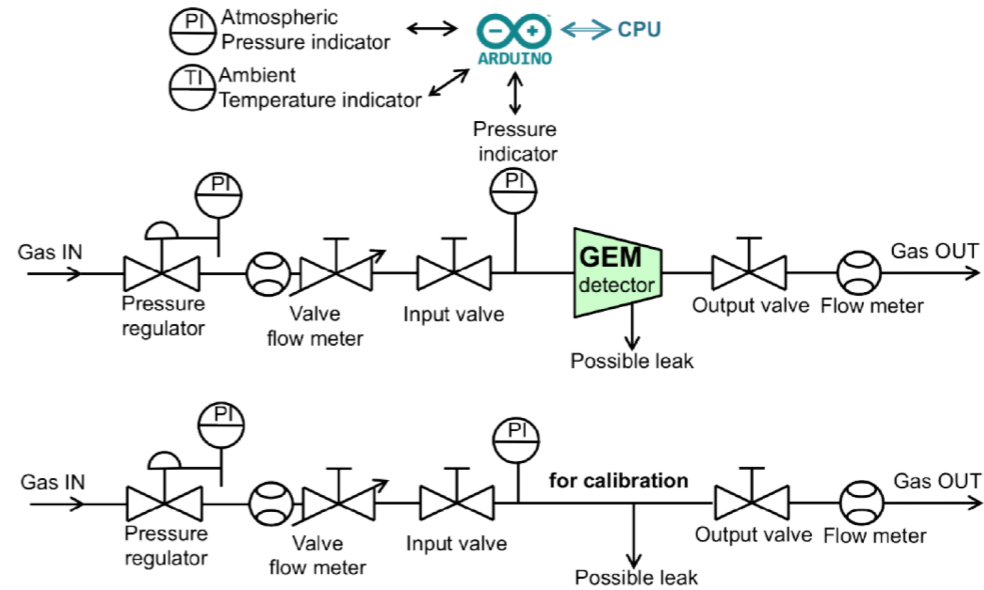
GEM探测器组装与QC流程

QC3: in production site

Single Chamber气密性测试

用CO₂或Ar充满探测器并加至约25mbar过压，用气压传感器实时监测探测器气压和环境大气压变化，并同时记录气温变化。

一般认为气密性良好的探测器漏气速率小于1mbar/h。若达不到要求则应采取适当措施增强探测器的气密性。



(QC3 in CERN by 何少坤)

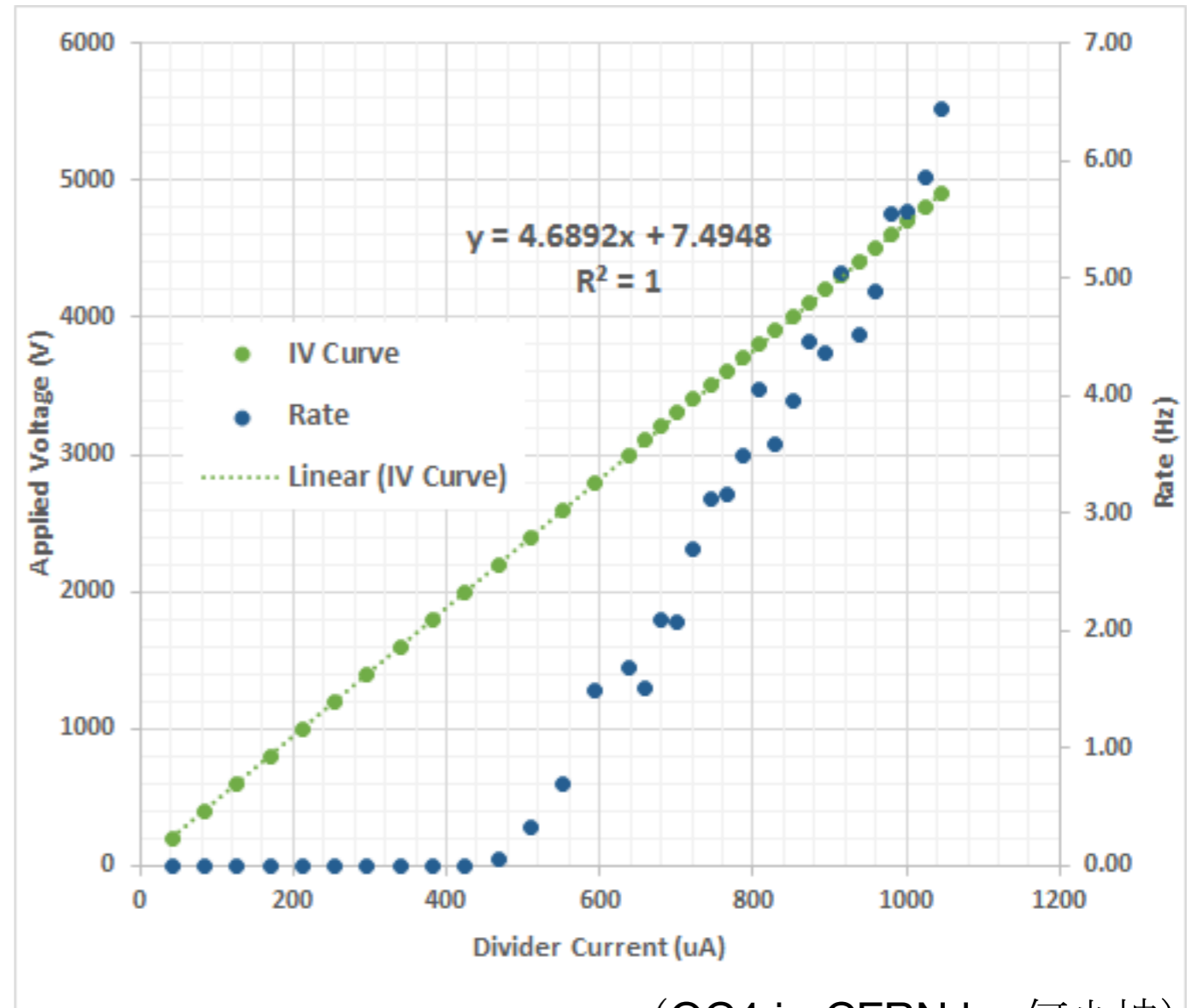
GEM探测器组装与QC流程

QC4: in production site

高压分压电路检测

- (1) 用CO₂充满探测器，用一个RC电路从第三层膜引出信号并接入前放，用示波器观察噪声。
- (2) 将前放输出信号经主放大器、定时甄别器后接入计数器。
- (3) 给高压电路逐步加上高压，记录I-V曲线和假信号计数率。

I-V曲线应线性良好，假信号计数率不超过10Hz



(QC4 in CERN by 何少坤)

GEM探测器组装与QC流程

QC5: in production site

增益测试

(1) 有效增益测试

给探测器充满工作气体(Ar/CO₂ 70:30), 从第三层膜引出信号并接入皮安表, 测量电流, 并用读出板的芯片测量计数率, 计算有效增益。

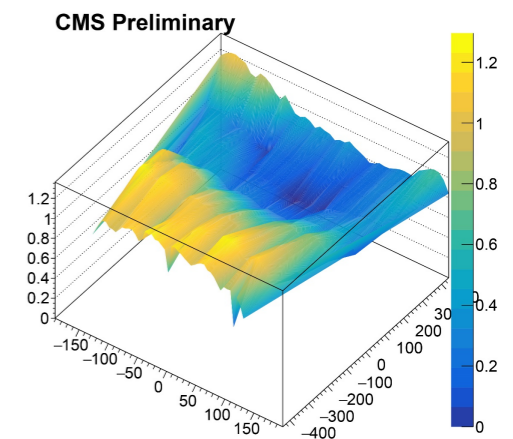
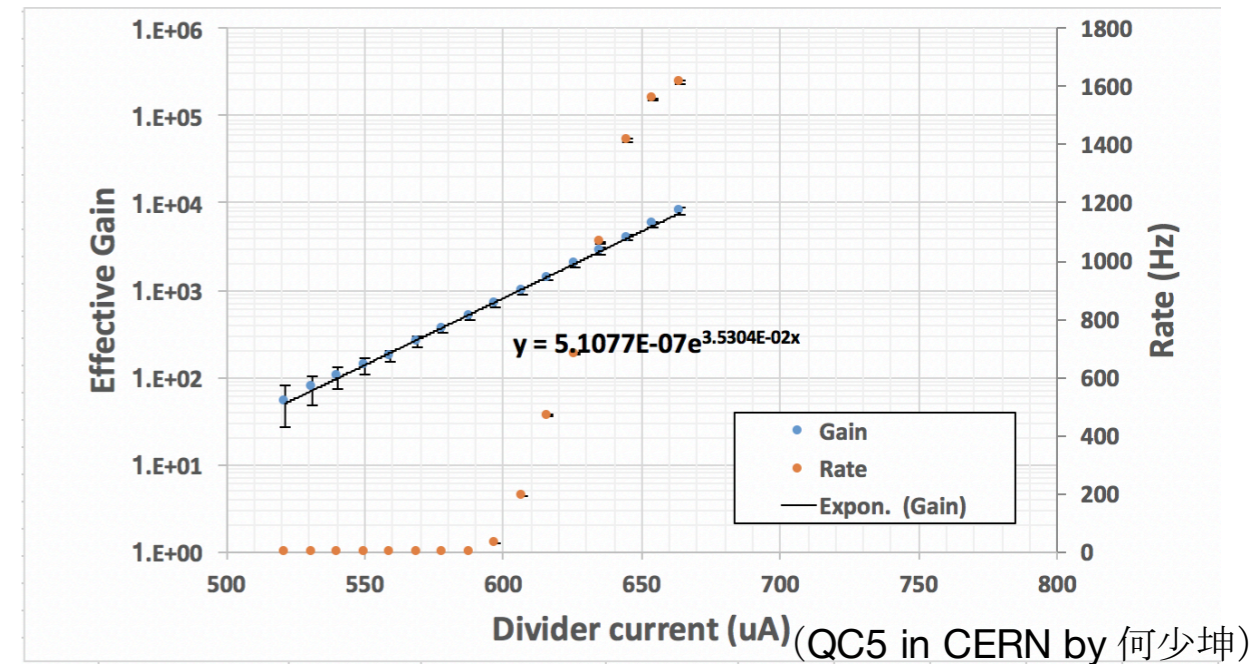
$$G = \frac{I}{eNR}$$

N:每次X射线初级电离数目
R:入射粒子的计数率

测量有效增益随所加高压的变化。

(2) 增益均匀性测试

将探测器放在屏蔽室内, 用X射线照射整个探测器, 用数据获取系统获取数据, 分析各个区域的增益。



GEM探测器组装与QC流程

QC6 in CERN

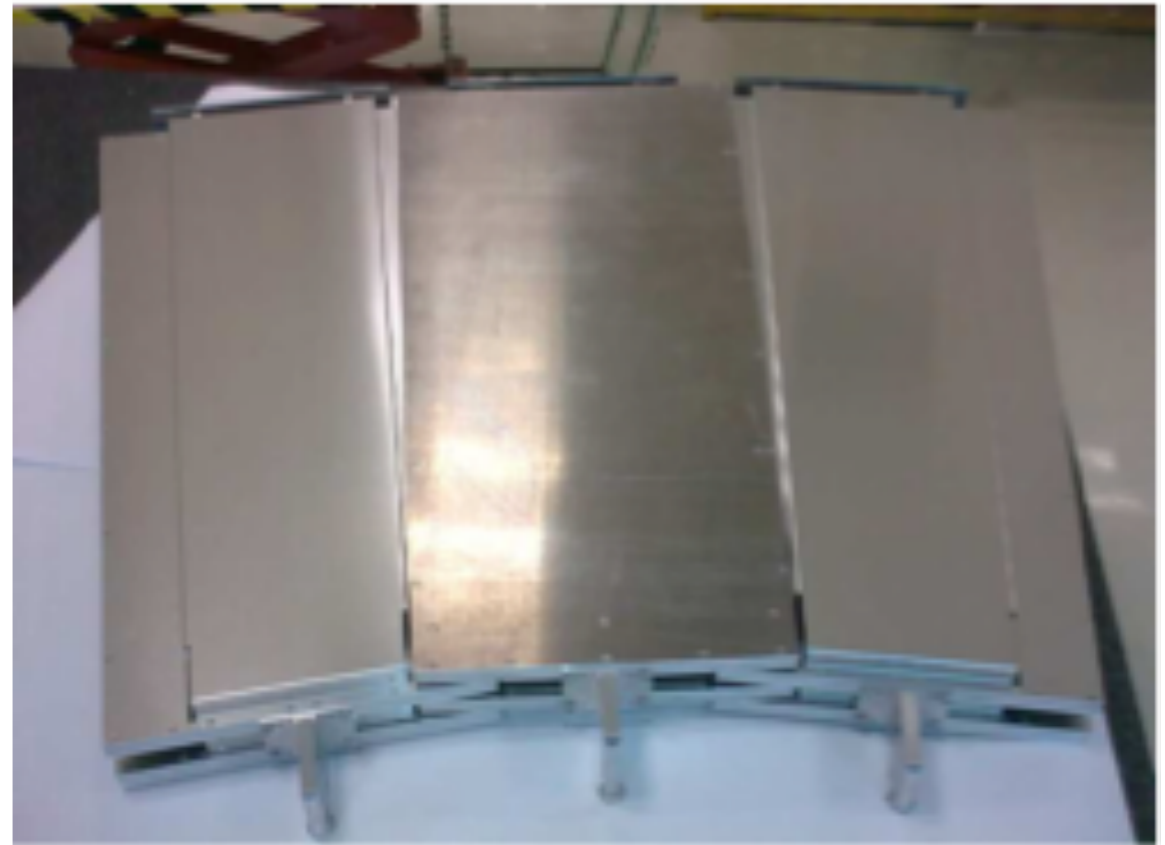
装配好的Single Chamber将被送回CERN重新进行QC3和QC4的流程，以确认运输过程没有造成损坏。
然后对探测器进行包装。

QC_{el} in CERN

用最终的与工作环境一致的电子学重复QC5

QC7 in CERN

随后将两个Single Chamber 装配为一个Super Chamber
并检测电子学连通性、探测器气密性以及冷却系统工作情况下的噪声



GE1/1 Super Chamber 模型
@CERN

GEM探测器组装与QC流程

QC8 in CERN

宇宙线测试

利用宇宙线缪子对组装好的Super Chamber进行测试：

- 进行自动化的高压扫描，测量效率曲线和时间、空间分辨性能；
- 使用与CMS实际取数时一致的数据获取系统及工作条件，检验电子学性能。

数据将被存储下来，用于后来的离线分析。



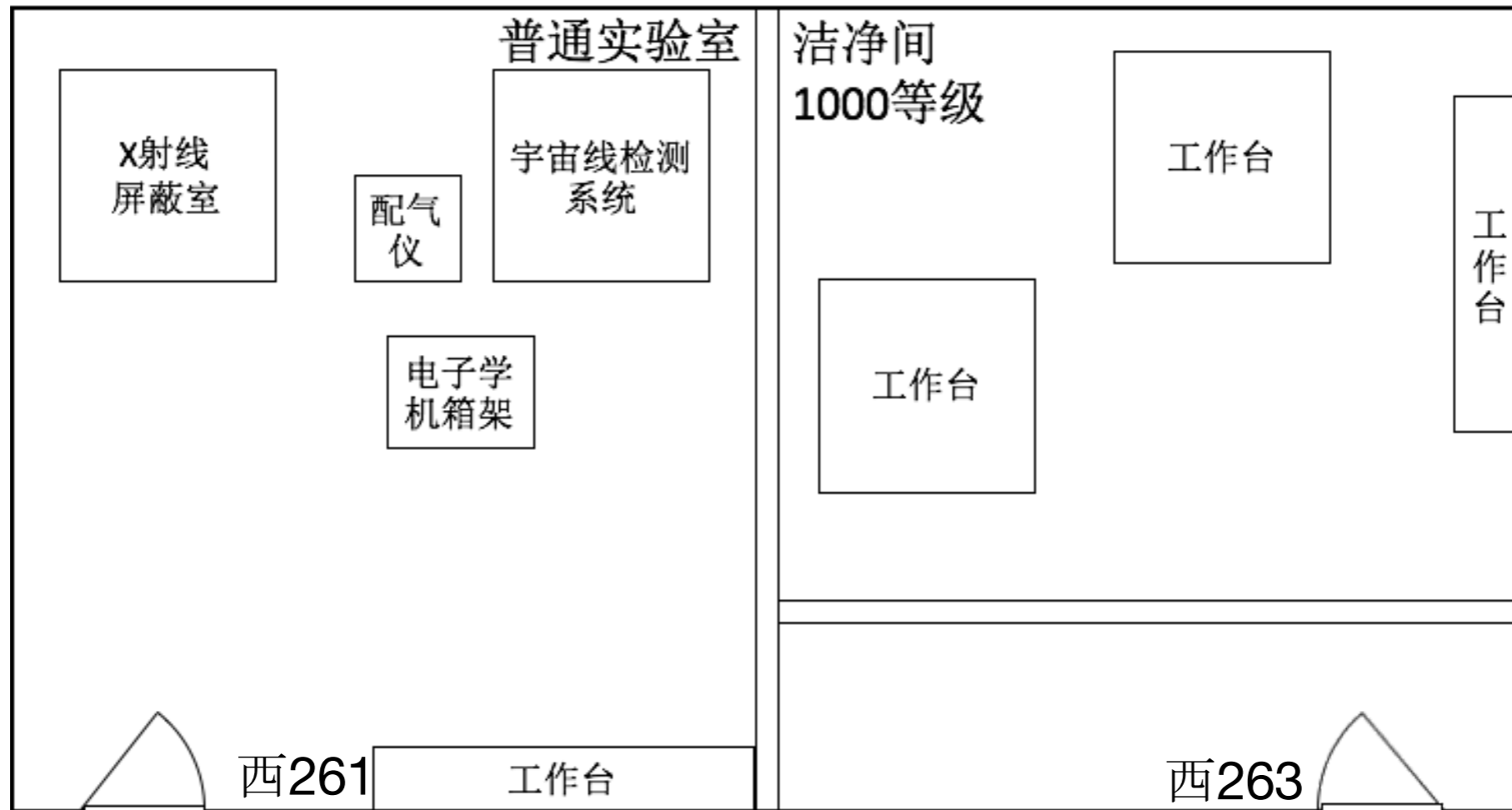
@CERN

3

PKU Production Site的建设

北京大学Production Site的建设

- 北大组多位学生和老教师参加了CERN的各步QC过程
- CMS-GEM合作组已经批准北大作为phase II GEM探测器的production site之一，承担GE2/1\ME0探测器的批量生产任务



物理楼实验室为建立production site升级(总面积约100m²)

GE2/1 8 different modules.

Total modules: (36 modules + 1 spare + 1 test bench chambers) x 8 = 304 modules.

ME0 216 chambers + 3 spares + 3 test bench chambers = 222 chambers

GE2/1 Production sites proposal:

- 38 China
- 76 INFN
- 76 Belgium
- 38 Pakistan
- 76 India

ME0 Production sites proposal:

- ~46 per each site.

Proposal for

China	Number of modules (China)	Total Number of modules	cost per module (kCHF)	Total cost (kCHF)	Start Production	End Production
GE2/1	38	304	6,3	239,4	July 2019	Jan 2022
ME0	46	222	7,7	354,2	Jan 2022	Jan 2024
total	84	526		593,6		

北京大学Production Site的建设



气体系统

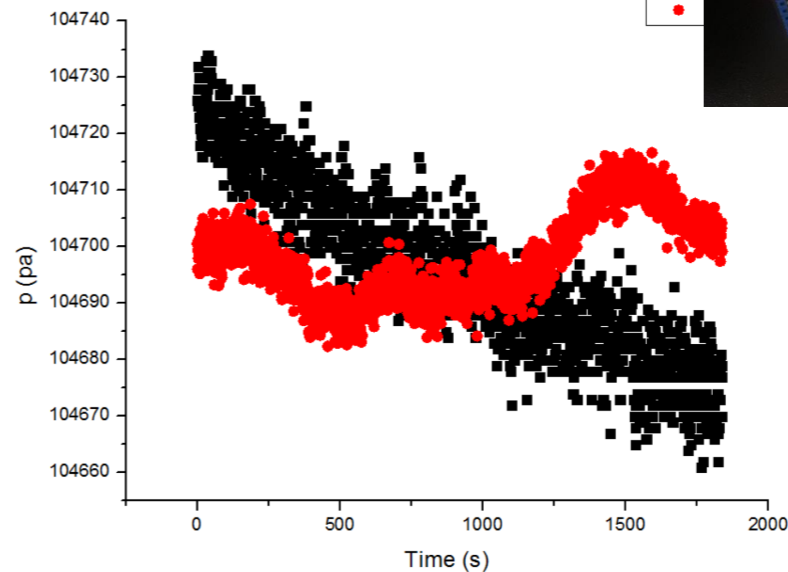
北京大学Production Site的建设

QC2的准备

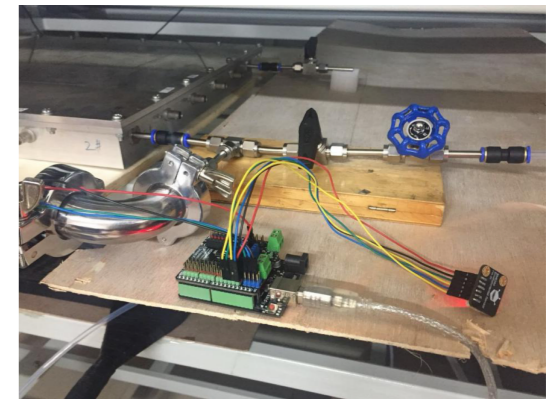
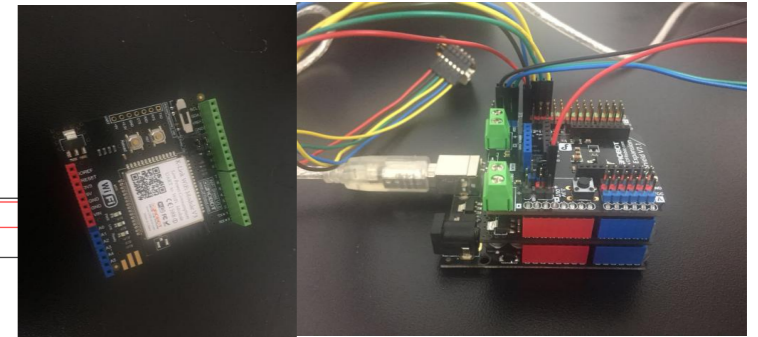


- (1) 高阻表 ✓
- (2) 万用表 ✓
- (3) 高压电源 ✓
- (4) 氮气箱体
需要完善并解决温湿度监测

QC3的准备



探测器气压与环境气压随时间变化



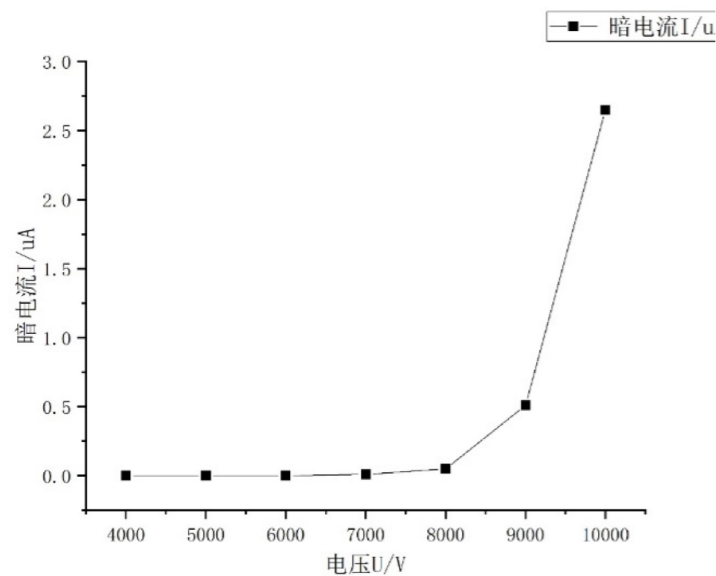
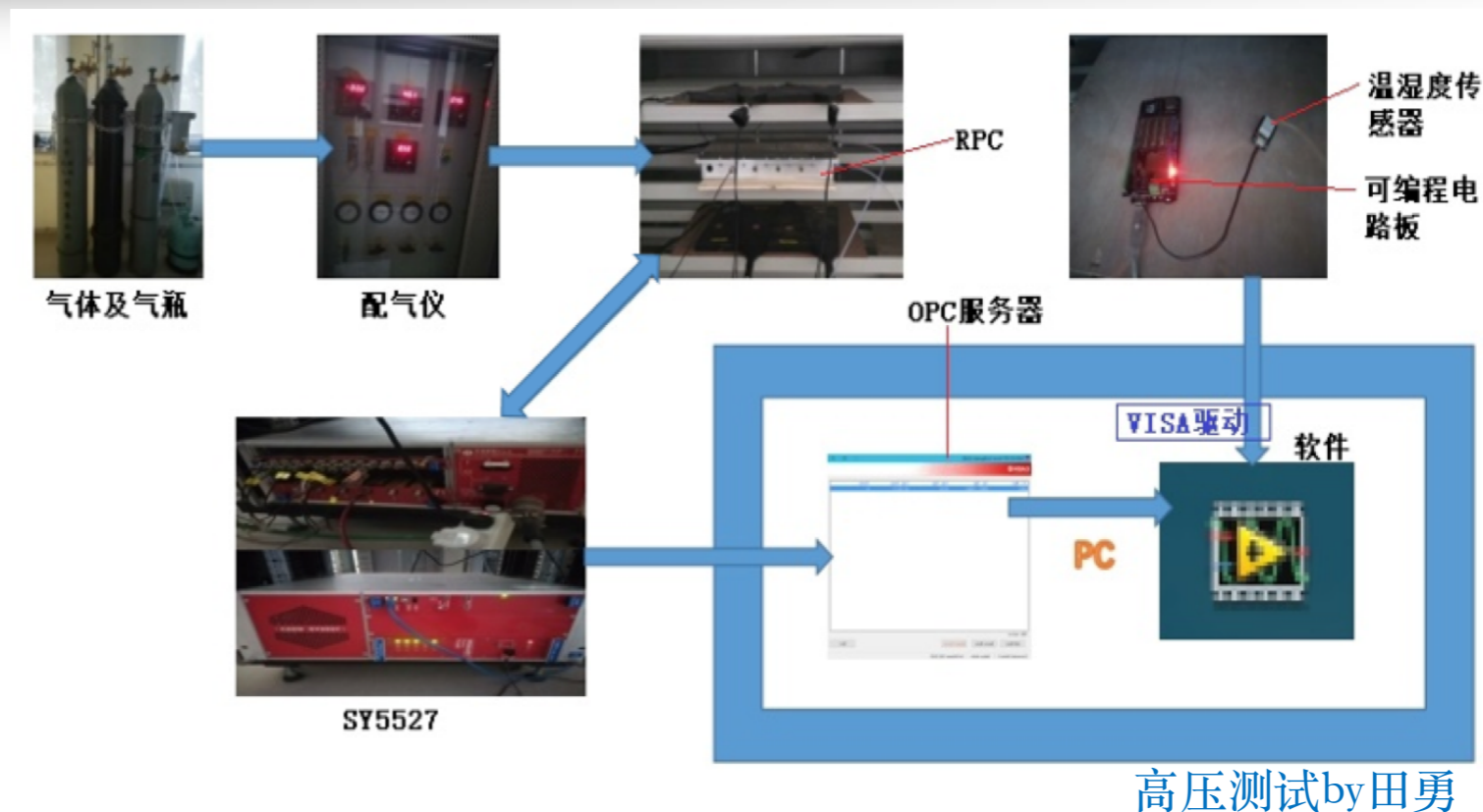
气体泄漏测试by姚金鹏

利用Arduino和Labview等软硬件开发工具及合适的传感器，搭建了完整的气体泄漏检测系统，具有对探测器内气压实时监控的功能。利用RPC探测器实现了对气密性的检测。

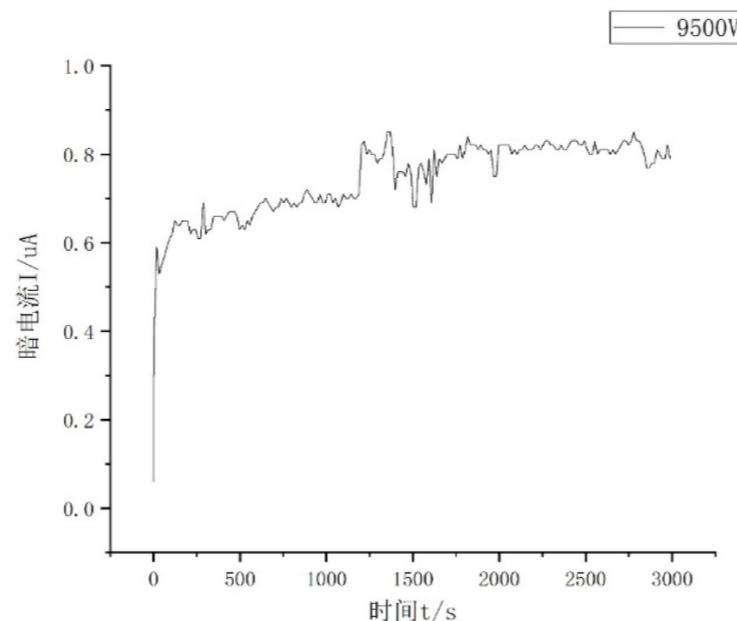
北京大学Production Site的建设

QC4的准备

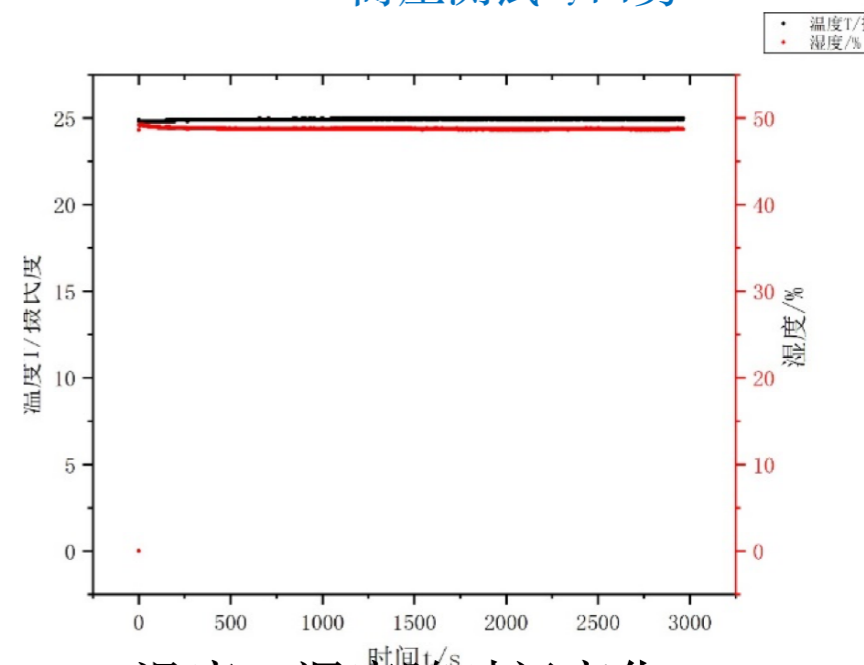
利用LABVIEW等建立了自动监测探测器加高压后漏电流随时间变化及环境温湿度的系统，并利用RPC探测器对系统进行了功能性测试。



暗电流随电压变化



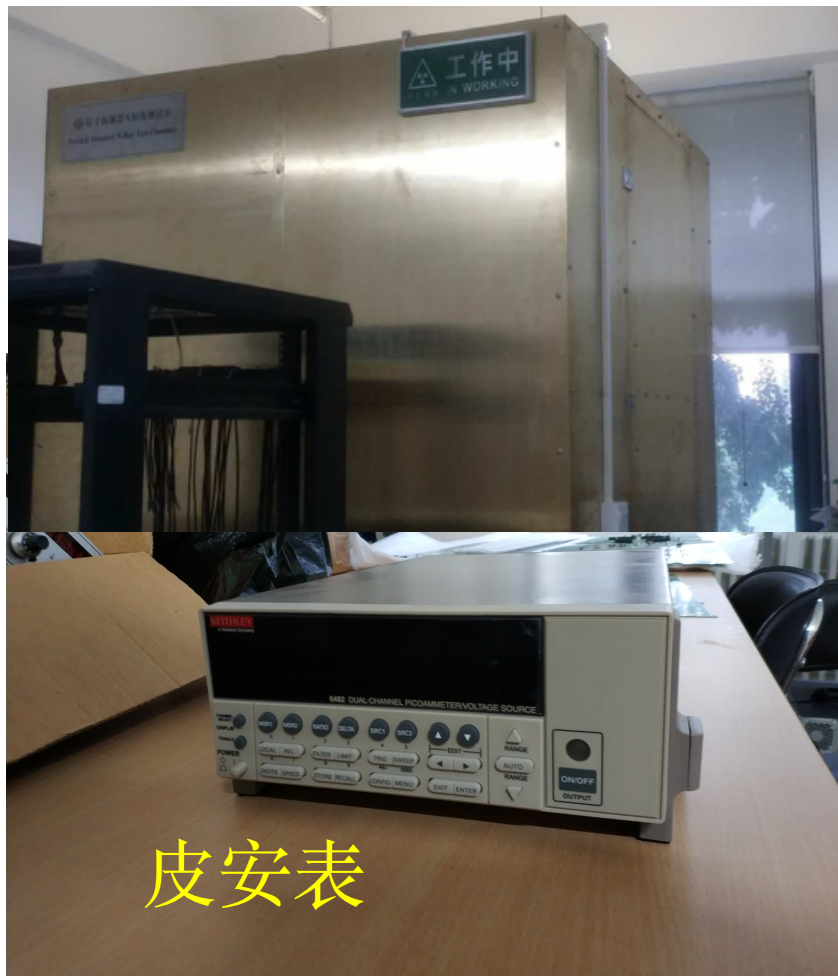
暗电流随时间变化



温度、湿度随时间变化

北京大学Production Site的建设

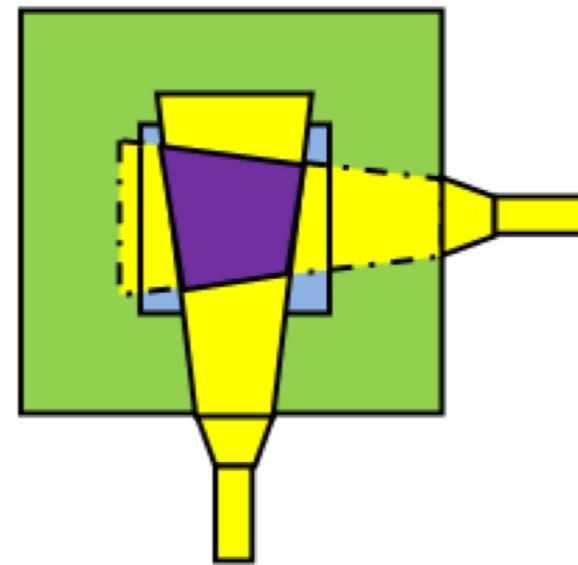
QC5的准备



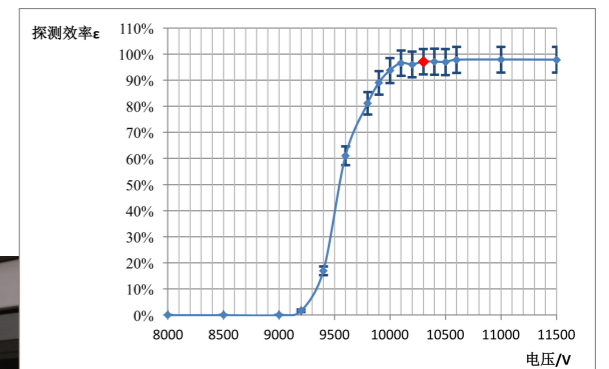
X射线屏蔽室

内有可三维移动的支架，用于固定Chamber进行测试

宇宙线测试的准备



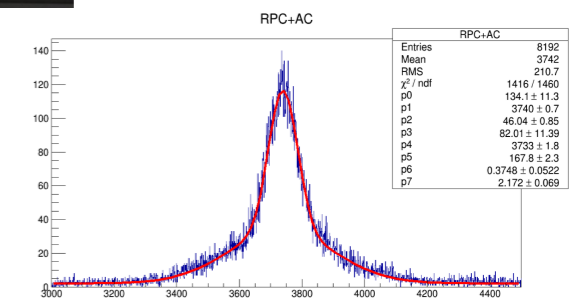
利用闪烁体触发系统及玻璃RPC搭建了宇宙线测试系统



探测效率随电压变化



宇宙线探测器测试 by 蒋楚翘



时间分辨拟合

4

总结

总结

为了适应HL-LHC的工作环境，CMS将进行phase II升级，其中ME0，GE1/1，GE2/1位置都选用GEM探测器，CMS合作组为探测器的批量生产和质量控制设立了一系列规范。

北京大学将成为CMS升级中GEM探测器的production site之一，承担GE2/1和ME0探测器生产任务。为此改建了约50m²的洁净间，并根据CMS规范正在搭建、完善各QC流程。小CMS-GEM探测器样机正在研制中。

Thanks