

# 赵忠尧博士后申请答辩

申请人：葛家瑾

核探测与核电子学国家重点实验室

中国科学技术大学近代物理系

2021.06.05

# 主要内容

---

- 个人简历
- 主要工作介绍
  1. LGAD电子学设计
  2. RPC探测器电子学设计
  3. 高计数率正电子寿命谱仪
  4. 研究成果
- 未来规划

# 个人简历

---

- **2020年7月-至今**

- 中国科学技术大学      粒子物理与原子核物理      博士后
- 合作导师：赵政国 教授    刘衍文 教授

- **2015年9月-2020年7月**

- 中国科学技术大学      物理电子学      工学博士
- 导师：金革 教授    梁昊 副教授

- **2018年1月-2018年8月**

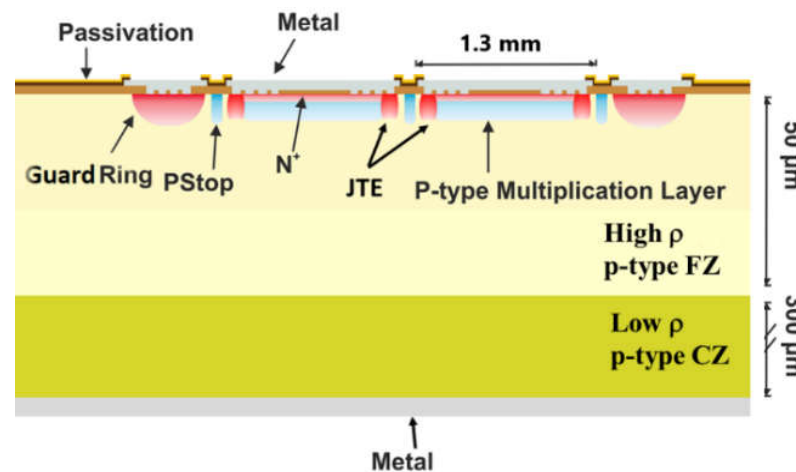
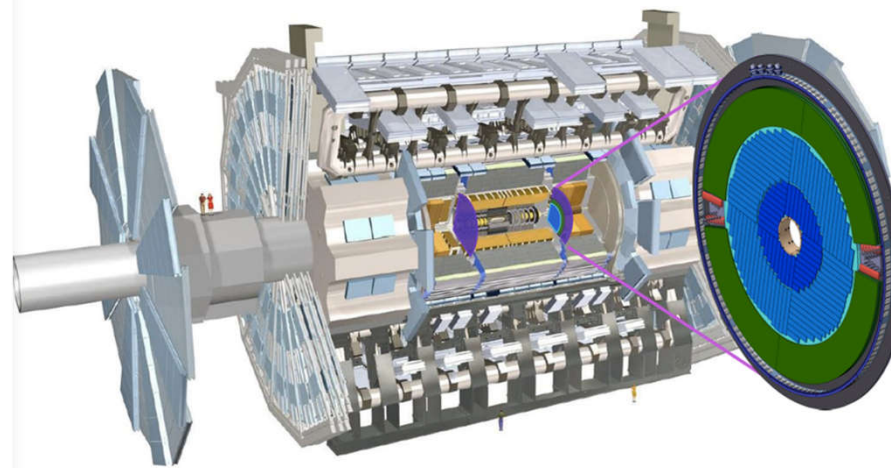
- CERN&罗马第二大学    ATLAS Phase II升级      合作研究
- 合作导师：Roberto Cardarelli

- **2011年9月-2015年7月**

- 华中师范大学      电子信息工程      工学学士
- 入选本科人才培养“博雅计划”，导师：黄光明 教授

# LGAD电子学设计

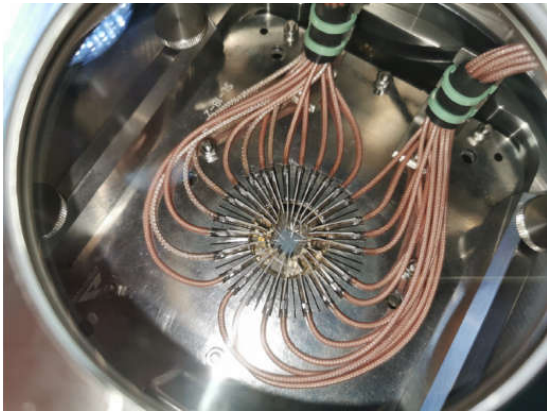
- ATLAS Phase II升级中将在对撞区域前端加上高流明定时探测器 (HGTD), 实现30 ps精度的时间测量, 从时间间隔上区分对撞位置十分接近的事例。
- 实现HGTD的技术为低增益雪崩探测器(LGAD)。



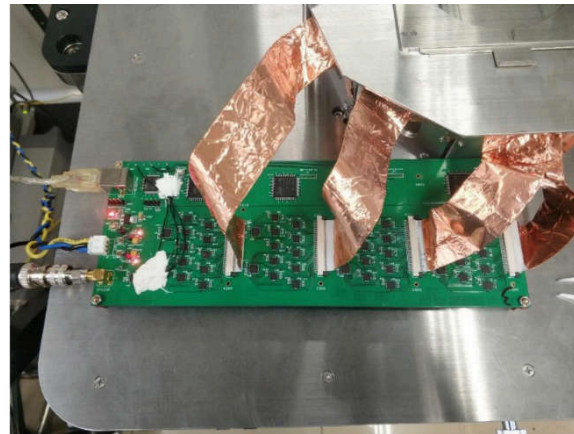
2x2阵列LGAD截面图

# LGAD电子学设计

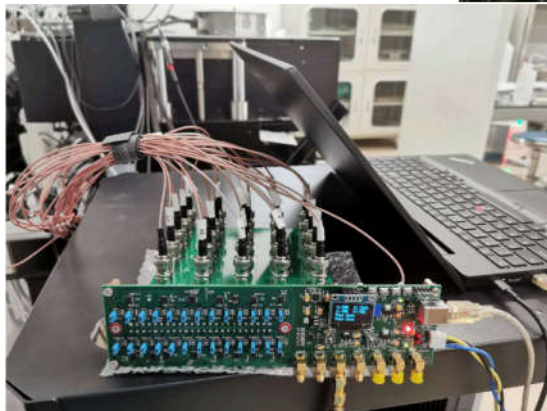
- I-V和C-V测试是LGAD质量控制的重要方法，大批量测试时需要提高测试效率。
- 设计完成了用于5x5,15x15大阵列LGAD的I-V、C-V测试的数字读出板，使大阵列LGAD的自动测试成为可能，大大提高了测试效率。
- 使用该读出板，科大是目前唯一建立了基于探针卡(5x5,15x15)的LGAD测试平台的合作单位



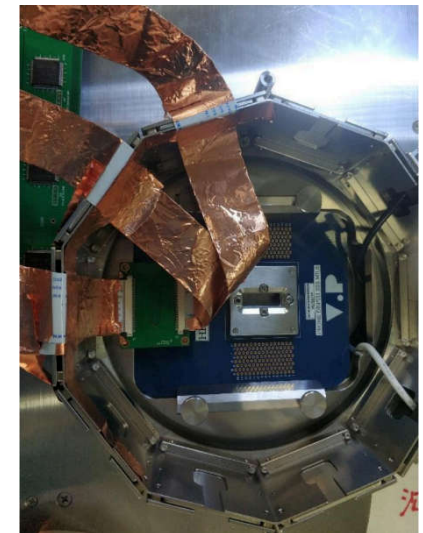
5x5阵列LGAD探针卡



15x15阵列LGAD I-V、  
C-V测试读出板



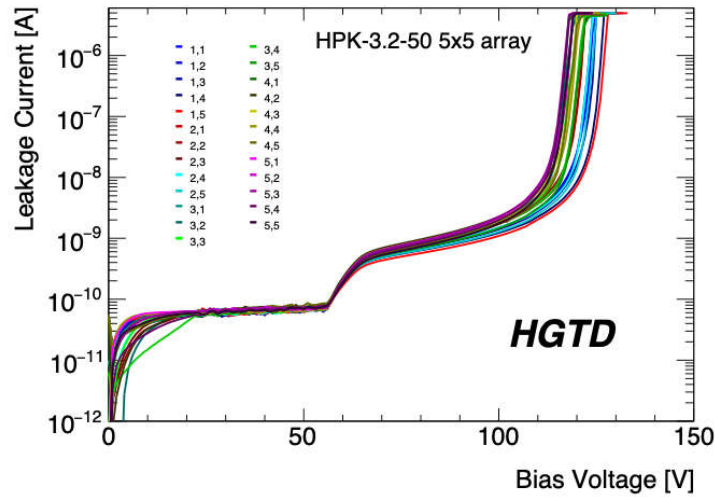
5x5阵列LGAD I-V、  
C-V测试读出板



15x15阵列LGAD探针卡

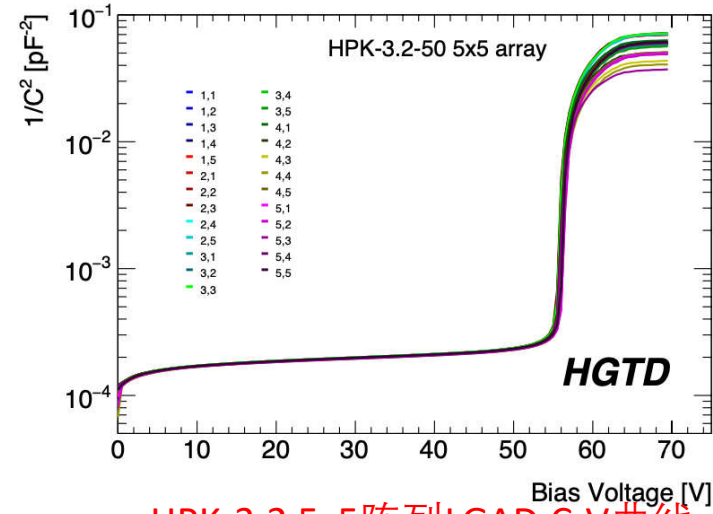
# LGAD电子学设计

- 基于5x5 LGAD阵列读出板测得的I-V、C-V曲线已写入HGTD的TDR中。



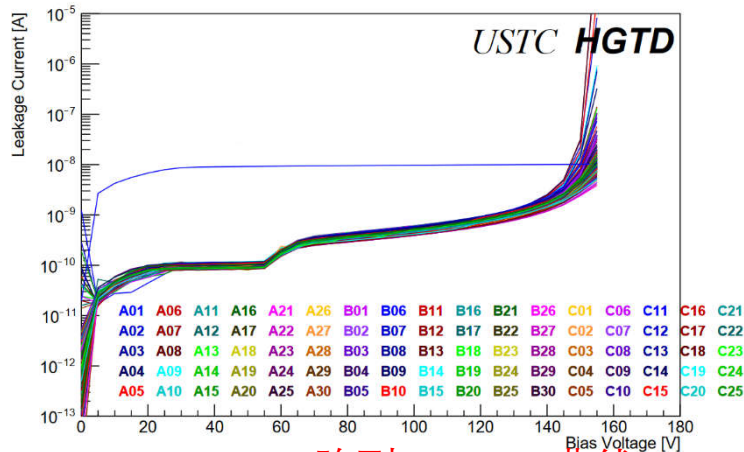
HPK-3.2 5x5阵列LGAD I-V曲线

labprob-Data-IV-2020Oct26-15x15-W1\_P7\_N3 [Log]

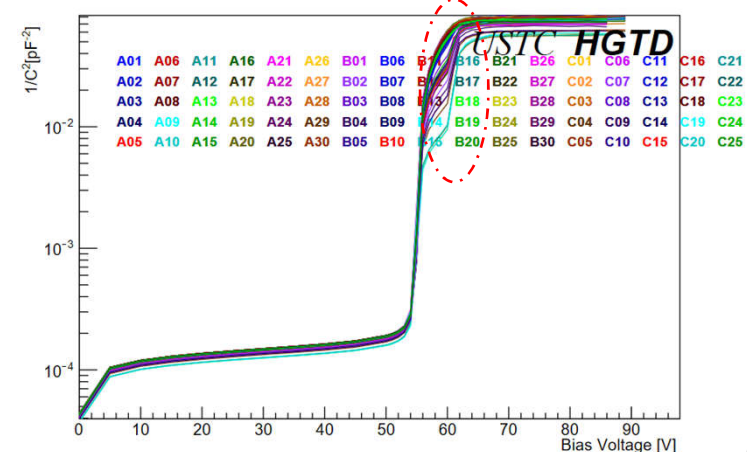


HPK-3.2 5x5阵列LGAD C-V曲线

labprob-Data-CV-2020Oct26-15x15-W1\_P7\_N2 [Log]



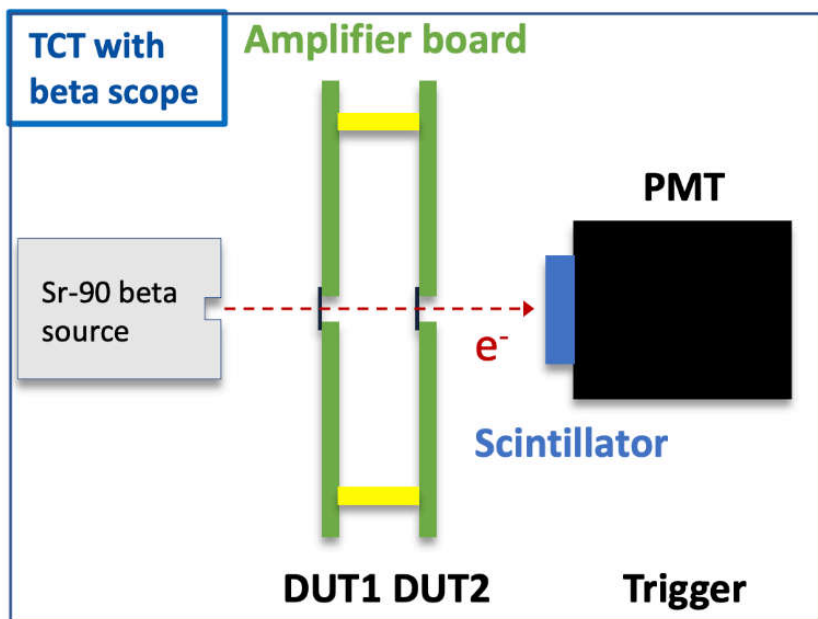
HPK Batch2 15x15阵列LGAD I-V曲线



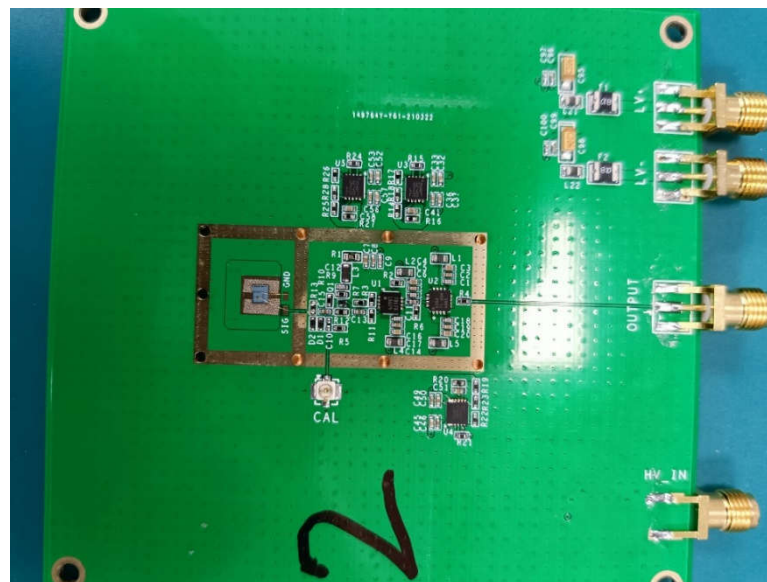
HPK Batch 2 15x15阵列LGAD C-V曲线

# LGAD电子学设计

- 使用瞬态电流技术来验证LGAD的时间分辨和能量分辨等性能——需要使用前端放大对LGAD输出的信号进行放大。
- 对模拟电路的设计能力提出了极高的要求：超高带宽 (>800 MHz)，超低噪声，超高增益



瞬态电流技术 (TCT) 测试平台  
闪烁体触发  
已知分辨率的LGAD做参考  
使用示波器对放大器输出进行采样



USTC LGAD前端放大板

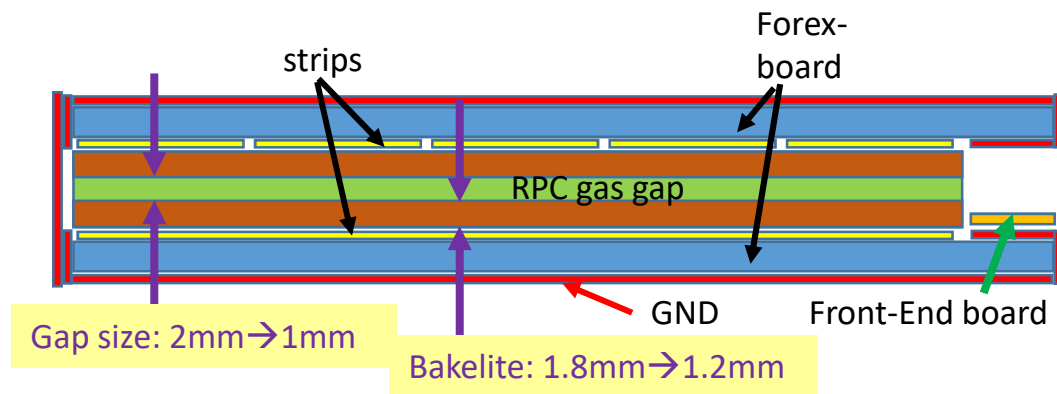
第一级放大使用SiGe工艺射频三极管

带宽: 1 GHz 增益: 30 mV/fC

信号平均幅度/噪声RMS: 83 (好于目前较常用的UCSC放大板的结果——70)

# RPC探测器电子学设计

- ATLAS Phase II升级中，阻性板（RPC）探测器也将进行升级：



- 高计数率:  $\sim \text{kHz}/\text{cm}^2$
- 长寿命: 在HL-LHC阶段运行10年
- 高空间分辨:  $\sim \text{cm}$
- 高时间分辨:  $\sim 0.5\text{ns}$
- 大面积:  $2 \text{ m}^2$



**减小气隙 (Gas gap)厚度:** 增加电场强度, 减小每个事例产生的电荷数, 以提高寿命和计数率;

**减小胶木垫 (Bakelite) 厚度:** 减小能量在bakelite中的损耗;

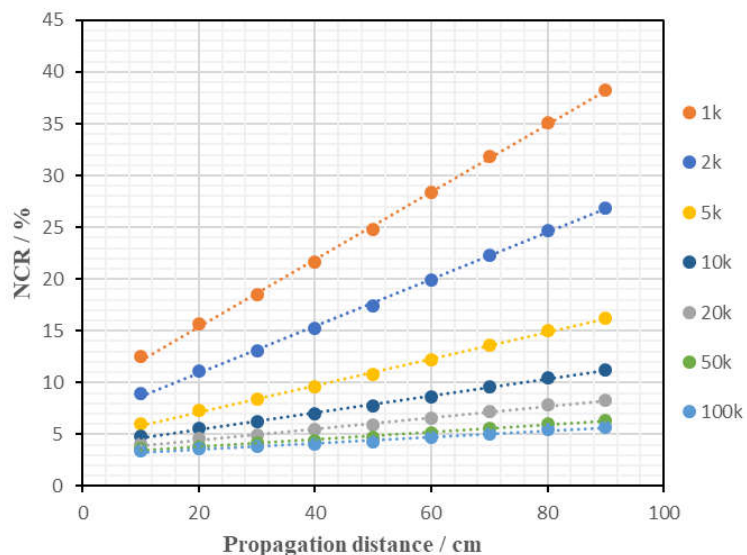
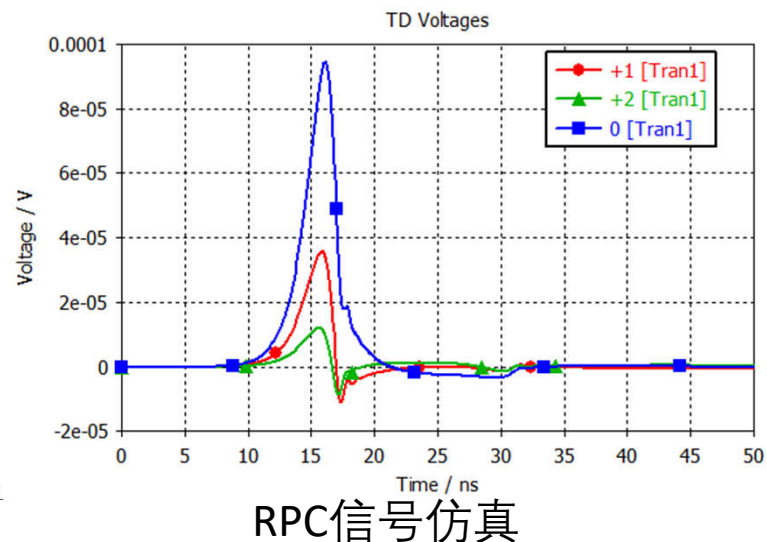
**改进读出板介质层结构:** 使用蜂窝板, 低介电常数、机械强度高;

**设计新一代的读出电子学:** 提高信噪比, 应对高计数率时增加的数据量。

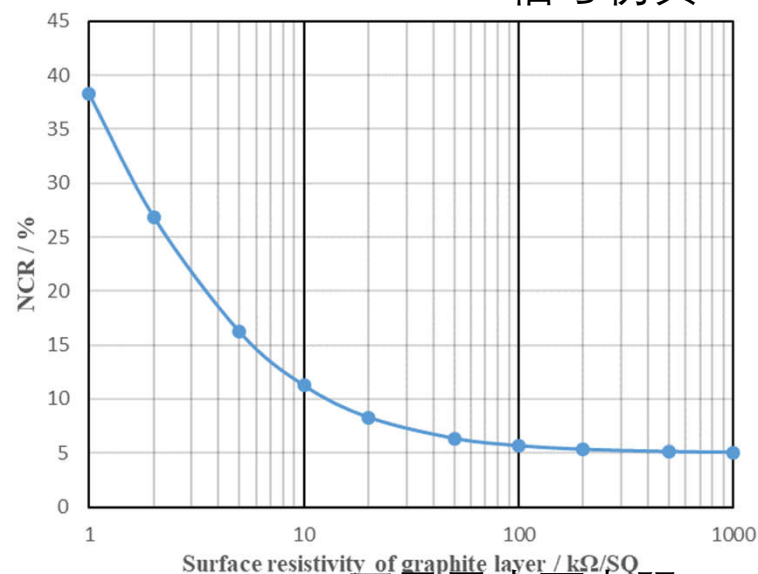


# RPC探测器电子学设计

- 使用计算机仿真软件 (CST) 对窄气隙RPC进行仿真, 对RPC在不同设计参数、不同高压情况下的信号失真、串扰、传输时间等问题进行研究;
- 根据仿真结果, 对窄气隙RPC串扰较大的问题提出了解决方案——通过控制喷涂剂量, 增大石墨层表面电阻, 已被Phase II升级采用。



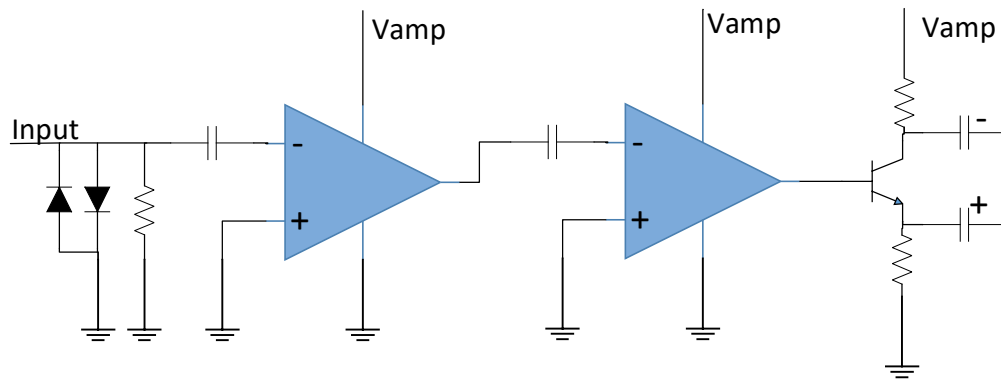
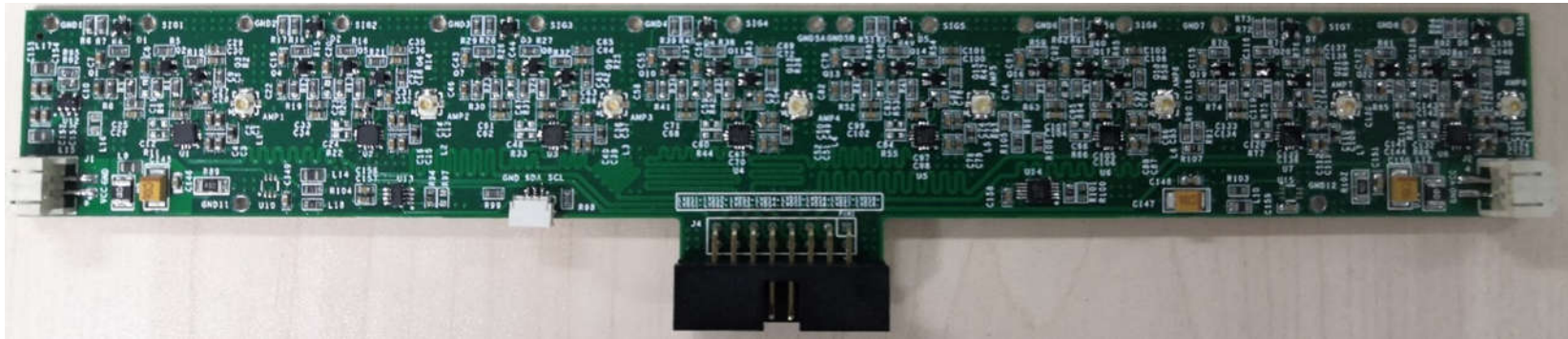
相邻条串扰/信号 (NCR) vs. 传输距离



NCR vs. 石墨层表面电阻

# RPC探测器电子学设计

- 设计RPC的前端电子学（放大+甄别）；

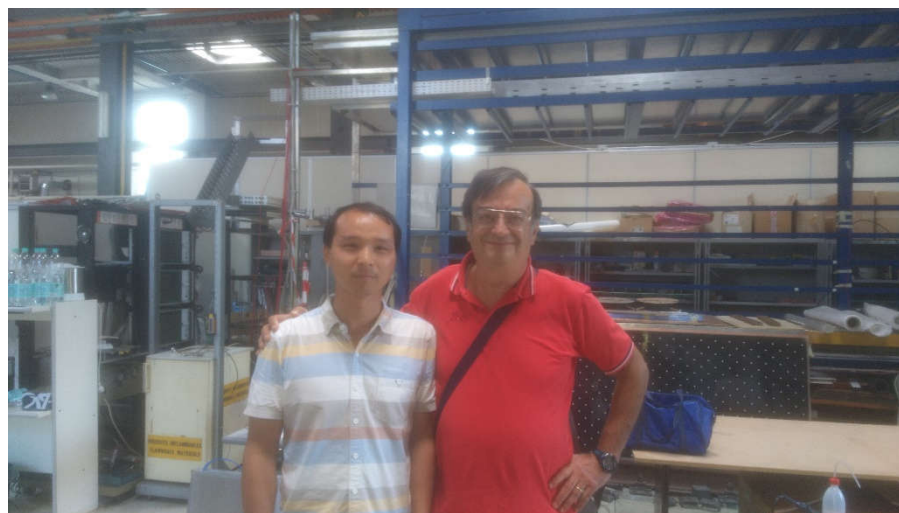
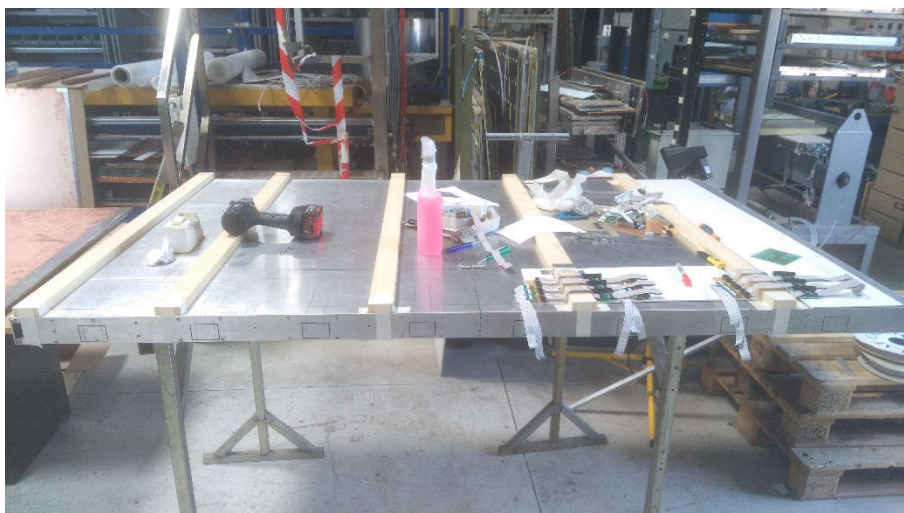


放大电路结构（完全使用SiGe:C三极管和电阻、电容等分立元件搭建）

放大电路结构：两极反  
馈放大+一级跟随器；  
电压增益：85倍  
带宽：150 MHz  
输出抖动：~10 ps  
功耗：45 mW/通道  
包含电压电流监控

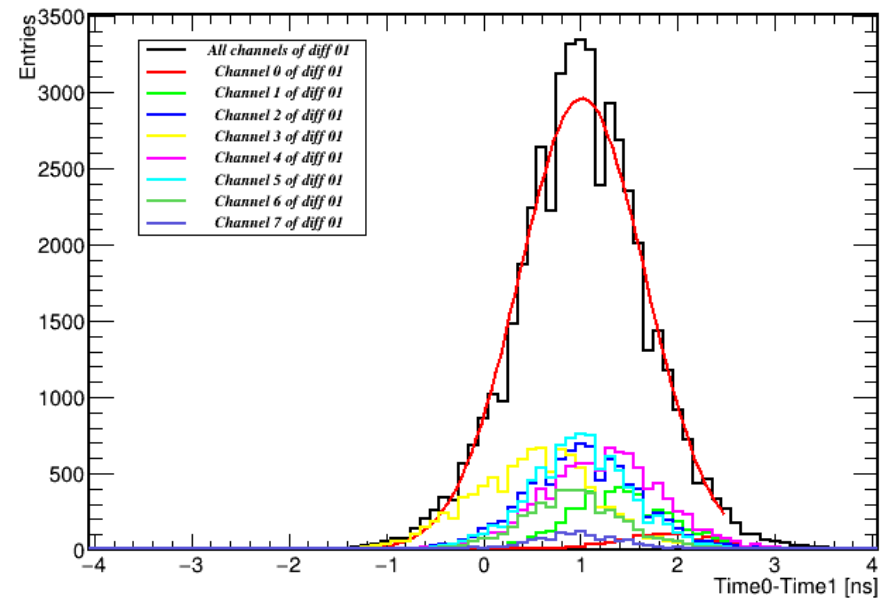
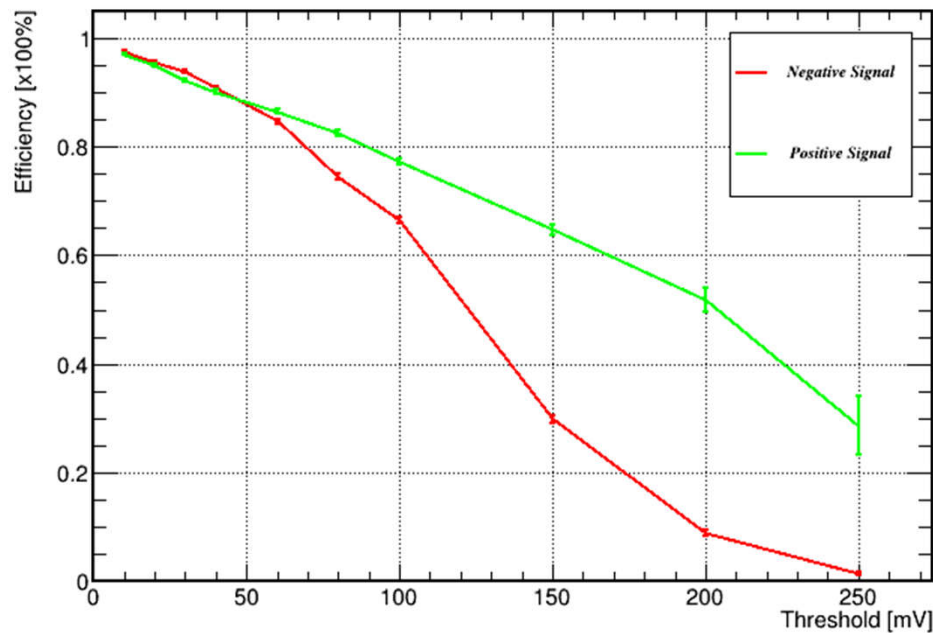
# RPC探测器电子学设计

在意大利  
参加RPC装  
配和电子  
学测试



# RPC探测器电子学设计

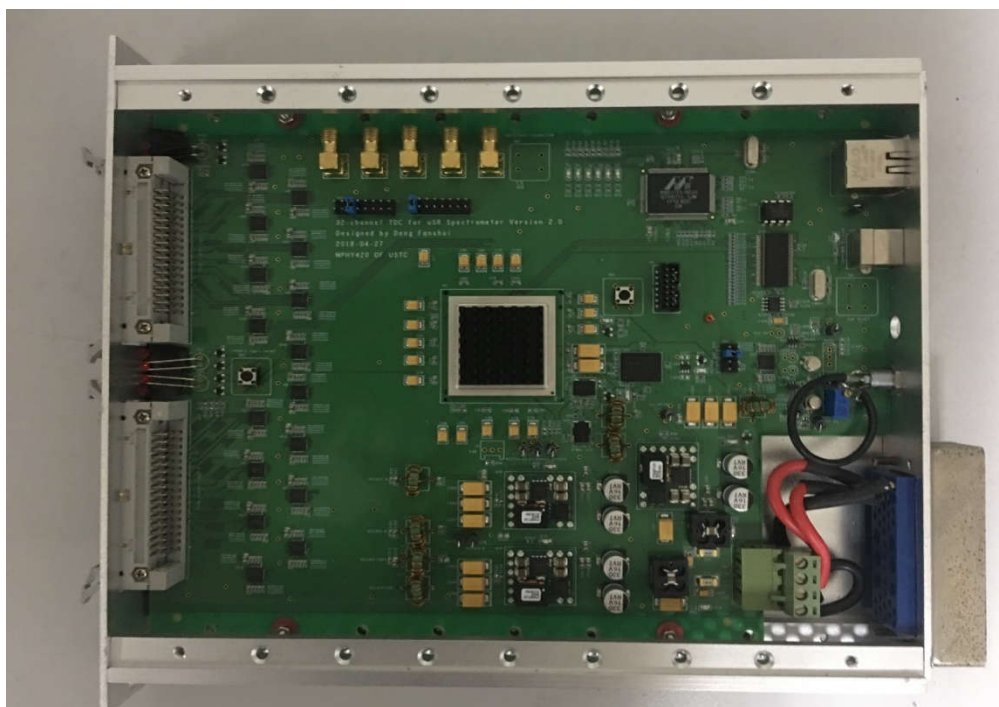
- 使用我们设计的前端电子学+CAEN V1290 TDC插件，探测效率达到95%，探测器+电子学整体时间分辨达到459 ps，满足设计需求。



Time resolution: 459 +/- 1.9 ps

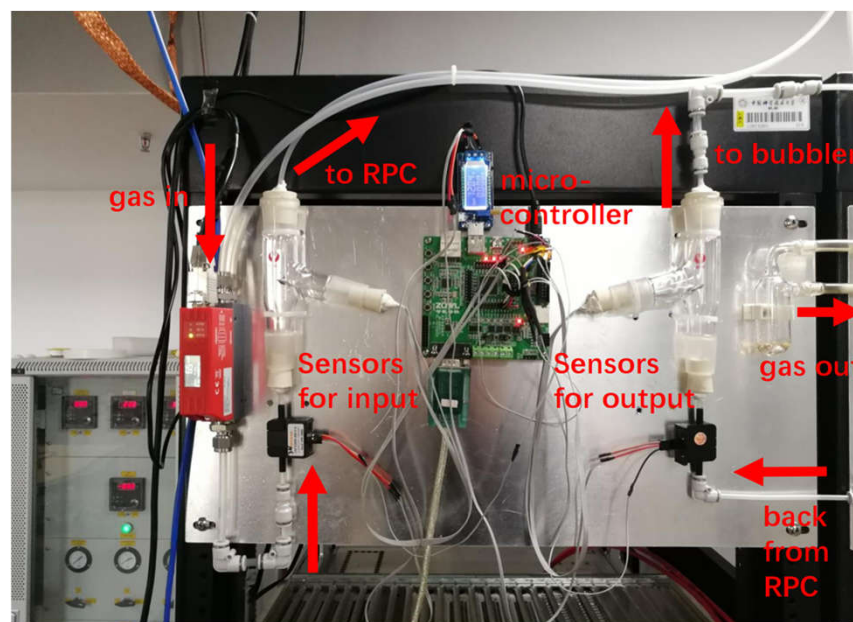
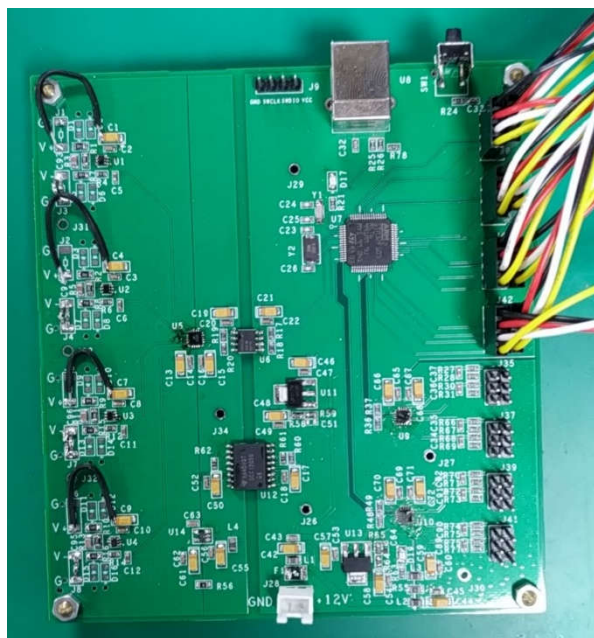
# RPC探测器电子学设计

- 参与设计RPC的读出电子学，每块板包括128路时间测量通道，并使用千兆以太网进行数据传输；
- 基于FPGA时钟相移的方法进行时间测量，时间分辨好于80 ps。



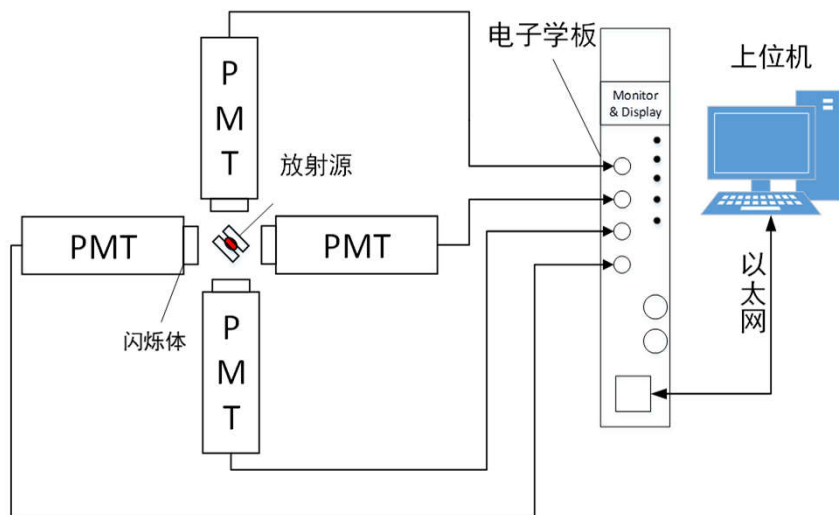
# RPC探测器电子学设计

- 负责RPC探测器慢控系统设计——高压监控（电压、电流），气体流量、温湿度监控，低压监控，监控各FEE板工作状态。目前已完成小规模的系统监控。



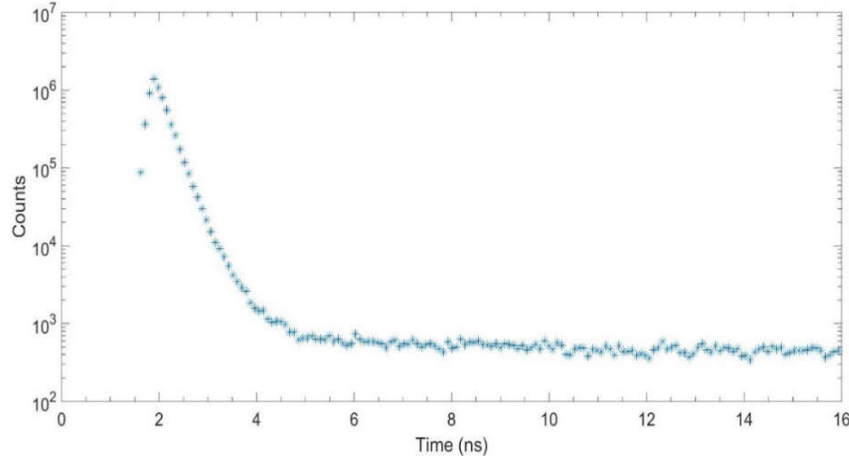
# 高计数率正电子寿命谱仪

- 传统正电子寿命谱仪使用两路探测器，一个通道接收start信号（正电子产生时发射的1.28 MeV  $\gamma$  射线），一个通道接收stop信号（正电子湮没时发射的511 keV  $\gamma$  射线）。缺点：计数率低，获取足够事例的时间太长
- 设计了一种高计数率正电子寿命谱仪，使用多通道符合的方法，每个通道均可以接收start信号和stop信号。已完成四路符合的正电子寿命谱仪，同时具有能量测量和寿命测量的功能。

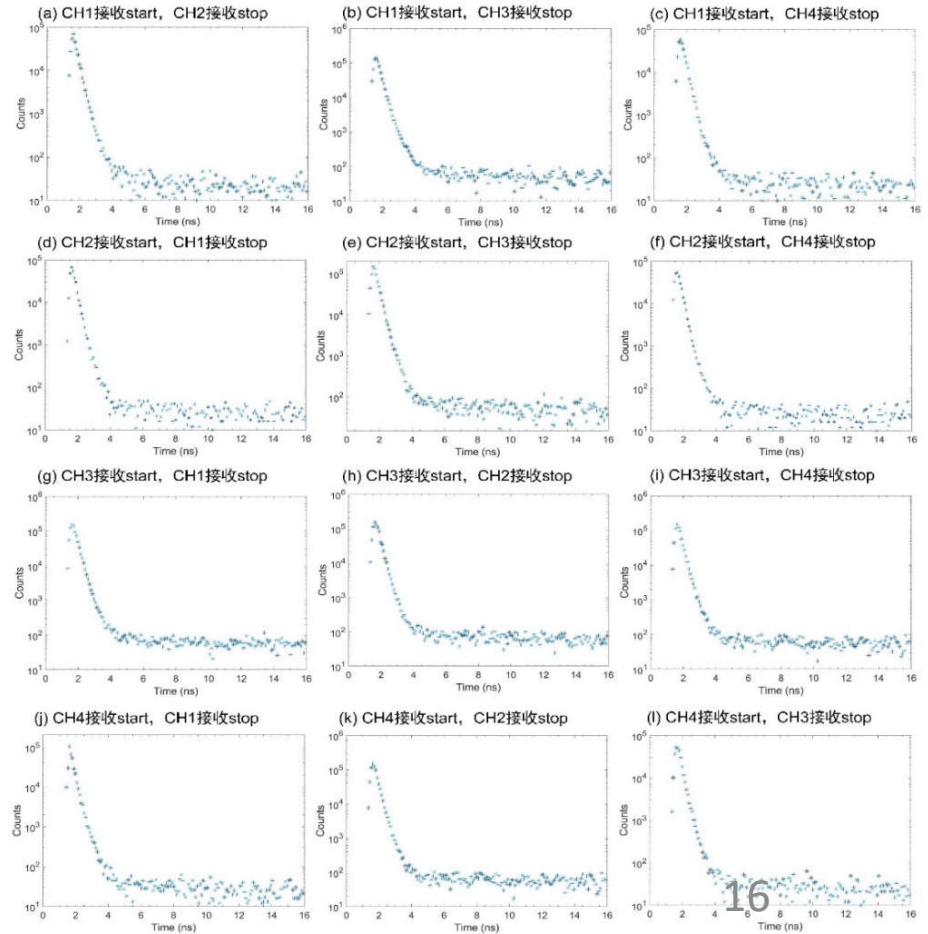


# 高计数率正电子寿命谱仪

- 测得四个通道的12种不同组合的分谱进行合并，合并谱的拟合时间半高宽达到212 ps，达到传统谱仪的同等水平；
- 计数率达到传统谱仪的11倍。



合并谱



分谱

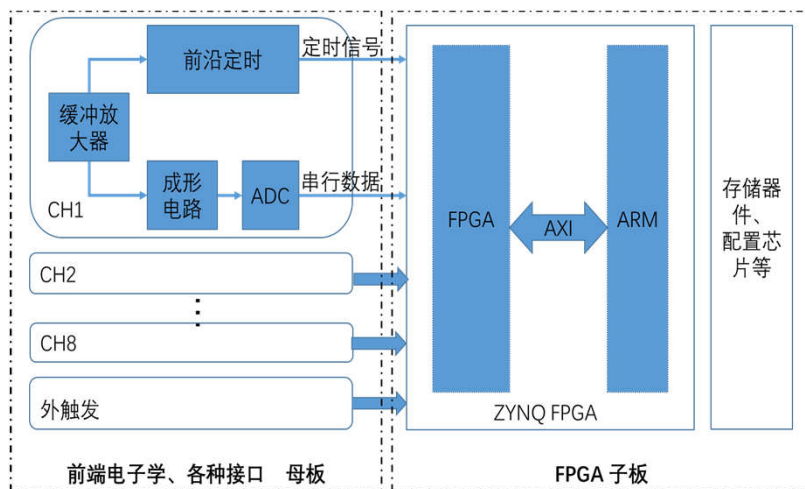


# 高计数率正电子寿命谱仪

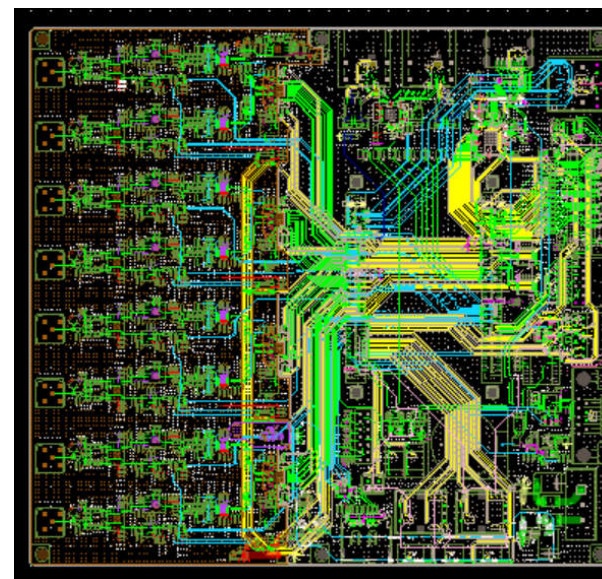
- 目前在设计一种8通道符合的高计数率正电子寿命谱仪；
- 使用SiPM作为探测器，拟实现时间分辨好于150 ps，计数率大于1 kcps；
- 探测器和电子学集成在同一机箱内部，实现小型化和成果转化。



探测器系统示意图



电子学系统结构框图



PCB设计

# 其他工作

- BES III Muon 前端电子学低压系统的维护;
- 大亚湾中微子实验RPC探测器DAQ系统的调试和安装, 4年的值班经历;
- 高采样率、多通道ADC、DAC系统的设计;
- DDS信号发生器的设计;
- .....

# 研究成果

- 发表论文:

1. **Ge J J**, Yang X, Zheng X. X. , et al. Digital Switch boards for I-V and C-V Measurements of Large-Array Low Gain Avalanche Detector. Nucl. Instrum. Meth. A. 2021, 1005, 165400.
2. **Ge J J**, Xue Z W, Cong L H, Liang H. Development of a TDC-based digital positron annihilation lifetime spectrometer. Journal of Instrumentation. 2020, 15, P03034-P.
3. **Ge J J**, Cong L H, Liang H. A two-in-one gamma-ray spectrometer and random pulse generator based on FPGA. Journal of Instrumentation. 2020, 15, P10008-P.
4. **Ge Jiabin**, Liang Hao, Xue Zhengwei, A real-time high-resolution and high-throughput energy spectrometer, 2019 14th IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI), Changsha, China, 2019, pp. 247-253
5. **ATLAS Collaboration**. Layout and performance of HPK prototype LGAD sensors for the High-Granularity Timing Detector. Nucl. Instrum. Meth. A. 2020, 980, 164379.
6. Xie X Y, Aielli G, Xue Z W, **Ge J J**, et al. A new approach in simulating RPC and searching for the causes of large cluster size of RPC[J]. Journal of Instrumentation, 2019, 14(09).

# 研究成果

- 比赛获奖:

- 2015年7月 亚洲创新大赛 特等奖
- 2014年11月 “ALTERA”杯SOPC电子设计大赛 ALTERA杯（大赛最高奖）
- 2014年8月 湖北省“TI”杯大学生电子设计大赛 二等奖
- 2013年12月 “挑战杯”大学生课外学术科技作品竞赛 二等奖



# 未来规划

- 目前的工作主要是板级设计，因HGTD项目需要，将学习ASIC的设计，未来将以半导体探测器及其电子学的设计为主要研究方向；
- 目前只实现使用单块TDC板对RPC探测器进行时间测量，接下来将致力于多块TDC板的同步测量和数据获取，实现多达1800个RPC通道的同时读出；
- 继续高计数率正电子寿命谱仪的研究；
- 博士后对于我来说是新的学习阶段，未来我仍将踏实工作，努力学习新的专业知识和技能，做出更多成果！

恳请各位老师批评指正！