基于闪烁光纤和SiPM的大面积字 宙线测试平台研制

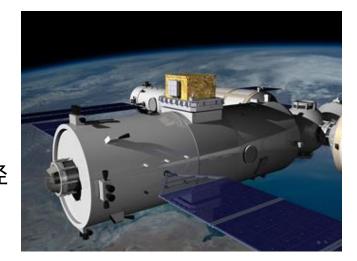
王志刚, 中科院高能所

2022.08.10

中国空间站高能宇宙辐射探测设施 (HERD)

■ 载荷特点

- 粒子实验模式:紧凑洋葱布局、同事例关联、 高统计量
- 超大、超重、大功耗
- 通道多且分散:量能器(7500块晶体,4万根波 移光纤,2台CMOS相机,1.5万支PD)、光纤径 迹仪(130万根闪烁光纤,23万路SiPM)、塑闪 探测器(2千塑闪单元,1万支SiPM)、硅电荷探 测器(53万路硅微条)和穿越辐射探测器(5千路)



载荷重量: ≤4000 kg

载荷包络: ~3.0*2.3*1.7 m³

载荷视场: +/-90°

载荷功耗: ~1900 W

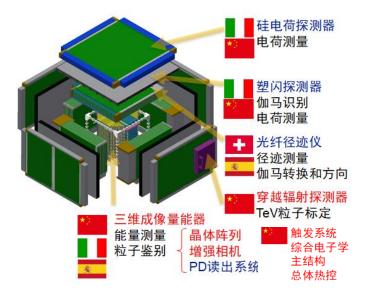
星地数传: 100 Mbps

预期寿命: 10年以上

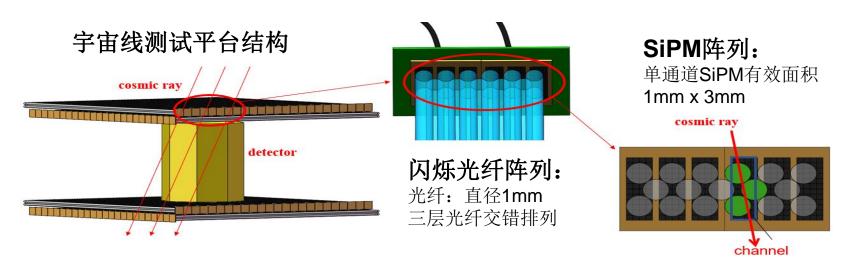
航天员需求: 协助安装、更换

液冷回路需求: 有

应用信息系统需求: 有



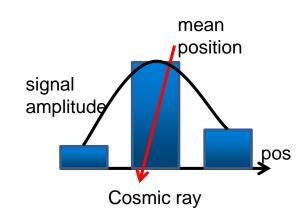
宇宙线测试平台方案设计



宇宙线测试平台设计参数:

- 1,面积:≥1mx1m
- 2, 位置分辨率: ≤ 1mm
- 3,探测效率:≥95%

HERD项目研制过程中需要一套性能稳定的大面积高精度宇宙线测试平台用于探测器性能标定。



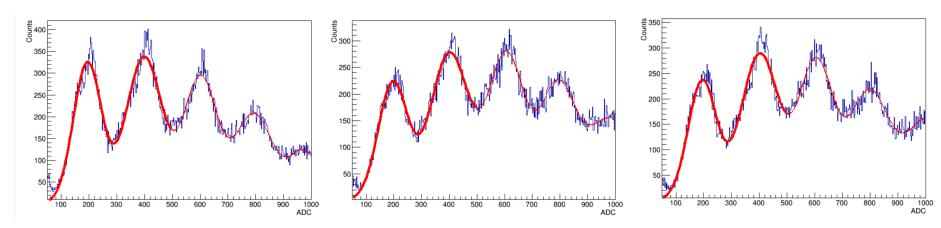
SiPM 性能测试



国产NDL SiPM, 面积: 3mm x 3mm, 三独立通道

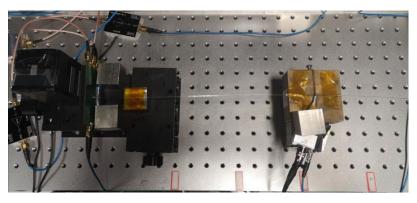
	通道1	通道2	通道3
ΔMean1	209.3	208.7	201.2
ΔMean2	199.6	201.8	200.5
ΔMean3	189.4	187.2	191.4
ΔMean average	199.4	199.2	197.7

单片SiPM三通道单光电子幅度对比

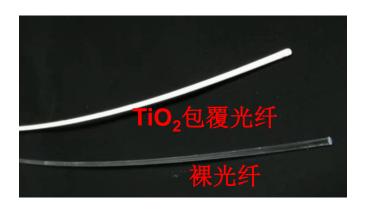


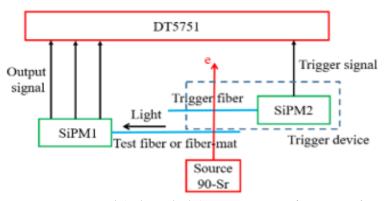
单片SiPM的三个通道增益一致性较好,均具备单光子分辨能力。

闪烁光纤性能测试

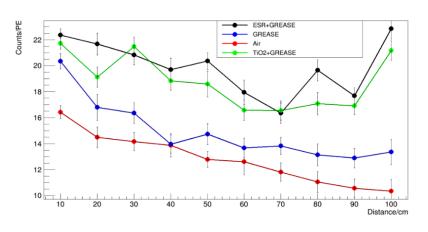


Kuraray fiber, SCSF-78, 直径1mm





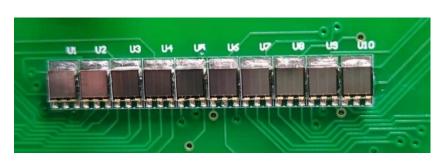
闪烁光纤性能放射源测试系统示意图



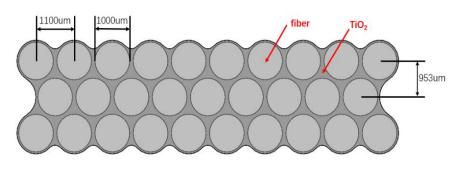
硅油耦合比空气耦合光电子数平均提高15.8%,末端贴ESR反射膜并且硅油耦合比普通的硅油耦合光电子数平均提高了58.6%。

闪烁光纤阵列采用TiO₂环氧树脂混合物粘接,SiPM与光纤硅油耦合,阵列末端贴ESR 反射膜的方式构建。

原理样机研制



SiPM 阵列: 30通道



三层光纤阵列设计图



第一版光纤阵列截面尺寸: 1cm x 100cm



测试版光纤阵列截面尺寸: 5cm x 100cm

初步完成了SiPM 阵列、光纤阵列研制,制作工艺在持续改进中。

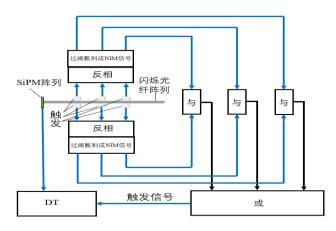
原理样机性能测试



原理样机宇宙线测试装置



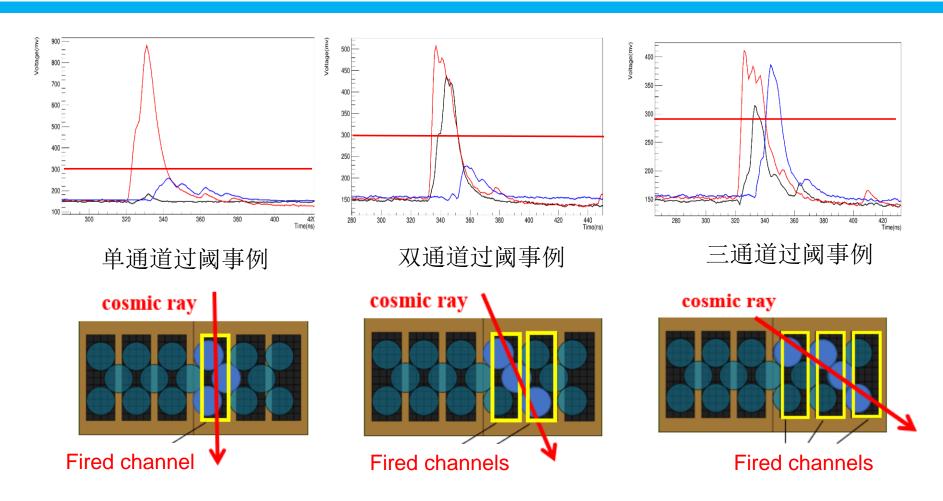
2台16通道DT5742



三位置宇宙线测试触发逻辑

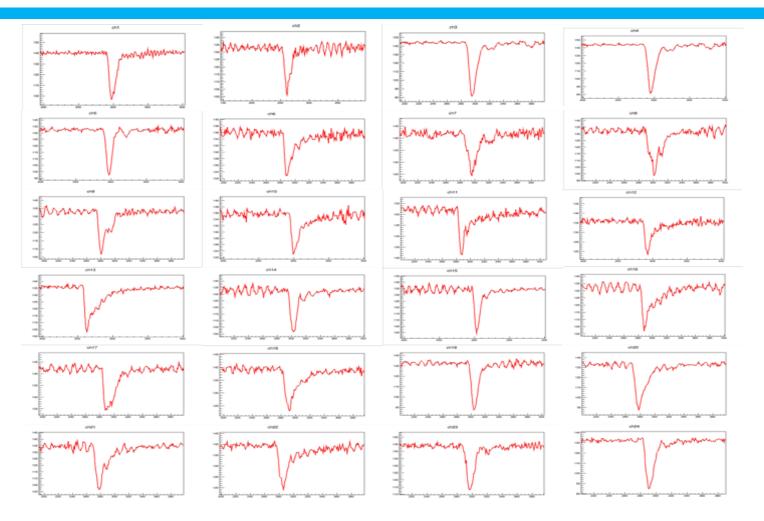
基于多通道波形采样器件搭建了32通道数据获取系统,对原理样机进行了初步的性能测试。

MIP事例沉积能量分布



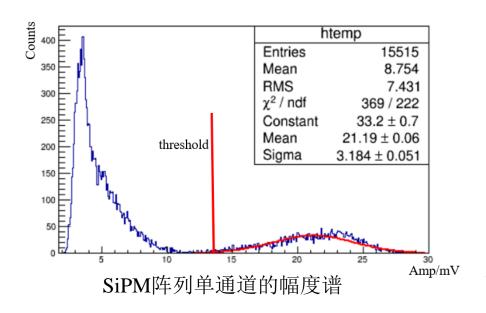
三种典型MIP事例波形及对应穿过闪烁光纤位置示意

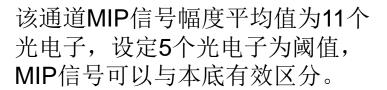
MIP 事例波形

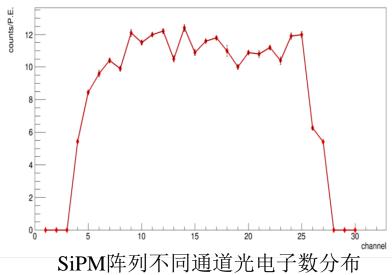


SiPM 阵列不同通道MIP事例波形

MIP 事例幅度

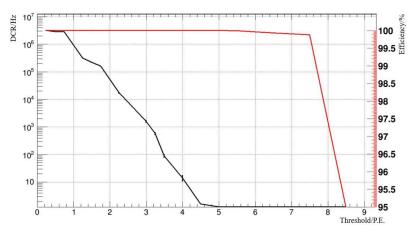




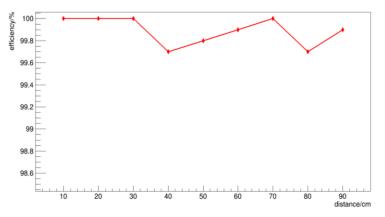


在距离SiPM 40cm处,MIP信号在不同通道间的光电子数8-12个。通道间的不一致性主要来源于光纤差异。

MIP 探测效率



单通道暗噪声计数率和MIP探测效率与阈值的关系



光纤长度方向不同位置MIP事例探测效率

SiPM的暗噪声计数率随着阈值增大快速下降(左); MIP事例探测效率随着阈值增大而下降(右)。

MIP有效事例判选标准:

- 1,相邻三个SiPM通道中的任一通道光 电子数大于等于5。
- 2,相邻三个SiPM通道中的任一通道光电子数均小于5,但是该三个通道光电子数之和大于8。

沿光纤长度方向不同位置MIP事例探测效率均大于99%。

总结与展望

- 1,为了满足HERD项目需求,开展了大面积高精度宇宙线测试平台研制。
- 2,基于国产SiPM进行了原理样机的研制与初步性能测试。
- 3,后续将重点开展高集成度读出系统研制。

Thanks!