

eXTP中GPD焦平面相机探测 平面平行度性能研究

蒋杰臣 on behalf of the eXTP international consortium

jiangjc@ihep.ac.cn

全国辐射探测微电子学交流会 NME'2021

2021/11/27





• 背景介绍

- eXTP科学目标
- GPD设计指标

• 芯片平面平行度模拟研究

- 模拟框架
- 电场变化
- 几何变化

• 芯片平面平行度调平及测试

- 贴片流程
- 平行度调平
- 小结和展望

■ 磁星催る

eXTP卫星有效载荷方案 大面积X射线准直望远镜

Jiangjc 2021/11/27

Wide Field Monitor, WFM*3

全国辐射探测微电子学交流会 NME'2021

偏振测量X射线聚焦望远镜阵列

Polarimetry Focusing Array, PFA*4

能谱测量X射线聚焦望远镜阵列

Spectroscopic Focusing Array, SFA*9

物理目标(一奇、二星、三极端)[(GM/*c*²*r*~1、10¹⁵ *g/cm*³、10¹⁴Gs)]

- 中子星和极端密度条件下的物理
- 规律黑洞和极端引力条件下的物理规律
- 超磁星和极端磁场条件下的物理规律

• 探测目标

- 偏振、能谱和时变的联合观测,获得天体的磁场、几何、辐射机制等重要信息
- X射线偏振探测 (PFA)

背景介绍

- 能够直接反映源的物理本质
- 磁星耀发的辐射机制

Large Area Detector, LAD*40

广角监视器

■ 强磁场下的QED效应









背景介绍



- 宇宙天体活动产生的伽马射线 E, r̂, T, p̂
- X射线的偏振方向强烈依赖于星体的结构
- PGWs, GRB, •••
- X射线偏振探测方法(<100 keV)
 - 光电效应, 布拉格反射效应 …
- 布拉格反射效应
 - 效率低, 探测X射线能量范围非常有限
- 光电效应
 - 库伦散射,低能端径迹很短 (~50 um/2KeV)
- PFA 设计目标
 - 高位置分辨
 - 高探测效率
 - 较好的有效探测面积
 - 较好的能量分辨率
- GPD 设计方向
 - 低质子数,小扩散系数,
 - 较好的增益及抗辐照性能



Jiangjc 2021/11/27





- X射线能量范围: 2-8 keV
- 能量分辨率: 20% @ 5.9 keV
- 角分辨: 30''@2 keV
- 绝对时间测量精度: <4 µs
- 偏振灵敏度: < 3% (10⁶s, 1m Crab)
- 视场(FWHM,@3 keV): 4x 8′
- 残余调制: <1% @5.9 keV

■ GEM结构及参数



- 型号: RIKEN-50 (日本Scienergy Co. Ltd.)
- 有效面积: 15.5 × 15.5 mm²
- 工艺: 化学刻蚀+红外激光照射
- 孔的数量: 112008 (359×312)
- 工作气体: 纯DME((CH₃)₂0)[2.115 mg/cm³, 2 eV]
 [0.2He+0.8DME]





- 模拟参数: 吸收深度10mm、工作气压0.8atm、GEM模拟电压470V
- 优化参数:偏振灵敏度(MDP)、MDP $\propto 1/F_Q$, $F_Q = \mu\sqrt{\epsilon}$
- GEM增益: 135 e⁻(470 V)
- 电子漂移速度: 1cm/us [2kV/cm]
- 扩散系数: 67.6 μm/√*cm*(漂移区)、32.6 μm(感应区)





3 keV F_Q优化结果^[1]



[1] https://doi.org/10.1016/j.astropartphys.2021.102628

Jiangjc 2021/11/27

模拟框架





Jiangjc 2021/11/27





- 读出ASIC芯片[INFN]: 15×15 mm² (300×352)[0.18um CMOS]
- 六边形金属电极、电荷灵敏放大器、成型电路、电荷注入
 内置自触发、峰值存储读出、刻度和诊断
- 芯片封装:贴片、打线、贴装
- 低出气率: TML~ 0.02、CVCM~0.01^[1]



Number of pixels Horizontal pitch Vertical pitch Shaping time Pixel gain Pixel Noise Dynamic range



105600 (300 × 352) 50.00 μ m 43.30 μ m 4 μ s ~ 400 mV fC⁻¹ 22.5 e⁻ ENC 1 V (~ 30k e⁻)



0.04

[1]总质量损失(TML),可凝挥发物(CVCM), TML<1%, CVCM<0.1%为低出气率

Jiangjc 2021/11/27

横向漂移距离:~0.25 μm

全国辐射探测微电子学交流会 NME'2021

ASIC与GEM不平行度为20 μm(0.067 μm/hole), 横向电场影响可忽略

9



芯片平行度







芯片平行度



- 二维图像几何形变
- 测试点P₁ (x₁, y₁)相对于平行平面的投影P₀ (x₀, y₀)
- $x_1 = x_0 / \cos(\theta)$, $y_1 = y_0 / \cos(\theta)$
- 不平行度20 μm(平面夹角 ~0.05^o)
- 不同平行度样本 → 坐标变换
- 径迹在斜面方向拉伸,像素响应增加(<0.002‰,20 μm)
- 每个GEM孔横向形变~4.5×10⁻⁵ µm
- 不平行度大于2 mm 或夹角大于8°,二维径迹形变影响大于1%
- GPD感应区深度为0.7 mm, 二维径迹形变影响远小于1%





Jiangjc 2021/11/27





■ 偏振方向45°角度重建

■ 无偏振角度重建



Jiangjc 2021/11/27

ASIC贴片



- 贴片要求: 陶瓷边框与芯片平行度小于20 um
- 万级洁净间:防止芯片表面污染及静电
- 真空吸笔: 以免表面金属读出像素被划伤或被污染
- 导电银胶: EPO-TEK H2OE (A和B, 固化时间120°C,15min)
- 测试装置: 非接触式3维影响测量仪(测量精度1 um)
- 贴片流程:银胶混合、上胶、贴片、调平、烘干
- 调平标准:计算芯片平面与陶瓷边框平面的夹角(< 0.05°)
- 调平方向及距离:芯片选点到陶瓷边框平面的距离

OGP





测试选点



- 确定芯片表面及陶瓷边框的选点位置及数量
- 计算不同选点位置与各自拟合平面的距离分布标准差

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------|----|------|------|-----|-----|----|
| ASIC | 25 | (49) | 81 | 121 | 121 | |
| Frame | 8 | 16 | (32) | 48 | 64 | 64 |



■ 陶瓷边框32个选点







■ 边框不同选点标准差



芯片调平





不平行度可以控制在20 um以内,烘干前后角度误差2 um左右,满足封装要求

Jiangjc 2021/11/27





- GPD增益模拟结果与实验趋势大致相符,验证了该模拟框架的可行性
- GPD芯片上表面与GEM下表面不平行度对电场分布影响可忽略,造成 的几何形变对调制因子的变化远小于1%,满足残余调制要求
- 采用OGP测量并结合现有的调平方式可将芯片上表面和陶瓷边框不平 行度控制在20 um以内,满足芯片封装要求



■ GEM工作电压优化^[1]



[1]李红,基于光电效应的天文X射线偏振测量方法及仪器研究

Jiangjc 2021/11/27



不平行度20 μm, 0.067 μm/hole



Jiangjc 2021/11/27



■ 重建角度偏差









Angel =
$$\frac{|A_1A_2 + B_1B_2 + C_1C_2|}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2 + C_1^2}\sqrt{A_2^2 + B_2^2 + C_2^2}} \times rad$$
$$angel = \arccos(Angel) \times \frac{180}{\pi} \times degree$$

$$AB = A_1A_2 + B_1B_2 + C_1C_2 \qquad AA = A_1^2 + B_1^2 + C_1^2 \qquad BB = A_2^2 + B_2^2 + C_2^2$$
$$\frac{\Delta_{Angel}}{Angel} = \left|\frac{A_2}{AB} - \frac{A_1}{AA}\right| \Delta_{A_1} + \left|\frac{A_1}{AB} - \frac{A_2}{BB}\right| \Delta_{A_2} + \left|\frac{B_2}{AB} - \frac{B_1}{AA}\right| \Delta_{B_1} + \left|\frac{B_1}{AB} - \frac{B_2}{BB}\right| \Delta_{B_2}$$

$$\Delta_{angel} = \left| \frac{-1}{\sqrt{1 - Angel^2}} \frac{180}{\pi} \right| \Delta_{Angel}$$

Jiangjc 2021/11/27