CTA報告 198 : 月光観測の背景光環境における CTA小口径望遠鏡用SiPMの性能評価

名大ISEE^A, 名大KMI^B 若園佳緒里^A, 田島宏康^A, 奥村曉^{A, B}

日本物理学会第77回年次回大会 3/15

Cherenkov Telescope Array (CTA)



CTA完成予想図(南サイト) © Gabriel Pérez Diaz (IAC)/Marc-André Besel (CTAO)/ESO/ N. Risinger 小口径望遠鏡の焦点面カメラ _{画像提供} : Christian Föhr

- ▶ 大中小の解像型大気チェレンコフ望遠鏡を北半球・南半球に約100台設置
- ▶小口径望遠鏡の焦点面カメラには半導体光電子増倍素子(SiPM)が用いられる →月光下でのガンマ線観測が可能 → 観測時間の拡大
- ▶大光量の背景光環境下で、SiPMの動作検証は十分されていない
 →大光量下でのSiPMの応答特性(波高値、電流、温度の背景光強度依存性)を測定する必要がある

半導体光電子增倍素子(SiPM)

64画素のSiPM



本研究で行ったこと



▶1画素あたりの検出光子数最大1 GHzの定常光を照射 ※小口径望遠鏡の満月の夜での観測時 ~ 750 MHz

- 1. 波高積分値の平均値 $ar{Q}$ の背景光強度依存性を測定
- 2. 電圧降下、降伏電圧の増大、超過電圧回復時間中のAPDセル数増加の3要因を測定、シミュレーション し超過電圧を求める
 - $\rightarrow \bar{Q}$ を計算

3.1.、2.で求めた $ar{Q}$ を比較 📥 増倍率や光検出効率の低下に伴う波高値の低下は3要因で説明できるか?

本研究で行ったこと



▶1画素あたりの検出光子数最大1 GHzの定常光を照射 ※小口径望遠鏡の満月の夜での観測時 ~ 750 MHz 1. 波高積分値の平均値夏の背景光強度依存性を測定







背景光強度測定



波高積分値測定

▶ 信号光(一定の光量、発光時間10 ns)+背景光(1画素あたりの背景光検出頻度F_{bg}:200 MHz ~ 1 GHz) を照射し、各背景光光量で波高積分値の平均値*Q*を測定した



信号光+背景光照射時の波形



▶ 背景光(1画素あたりの背景光検出頻度F_{bg}:200 MHz ~ 1 GHz)を照射した際の電流 *I* を測定し、 波形読み出し回路の抵抗から電圧降下により低下する電圧を推定した



▶ F_{bg} ~ 1 GHzのとき、電圧降下によって超過電圧は**約0.045 V**低下することがわかった (波高積分値の平均値*Q*で**約1.5 %**の低下に相当)



▶SiPM内部の温度を測定することは難しい

- ※暗電流:光を照射していない時に流れる電流
- → 背景光を切った瞬間の暗電流を測定し、暗電流と温度の関係からSiPM内部の温度を推定した
- → 降伏電圧と温度の関係と、温度の推定値から降伏電圧を計算し求めた



▶ $F_{bg} \simeq 1 \, \text{GHz}$ のとき、SiPMの発熱に伴う降伏電圧の上昇によって超過電圧は約0.12 V 低下することがわかった(波高積分値の平均値 \bar{Q} で約3.5 %の低下に相当)

回復途中のAPDセル数増加に伴う超過電圧の低下

SiPMを構成する各APDセルは光電子を発生してから超過電圧が回復するまでに時間を要する
 回復時間を考慮し、動的に変化する各APDセルの超過電圧をシミュレーションから求めた



波高積分値の測定値と計算値の比較



▶ Qの実測値と、Qの計算値(電圧降下、降伏電圧の上昇、回復時間を考慮)を比較した → 3要因で増倍率と検出効率の低下を説明できることがわかった 11/12

まとめ

▶月光下観測の実現により観測時間の拡大が期待される

→大光量の背景光環境下で、SiPMの動作検証はされていなかった



- 大光量の背景光照射による増倍率や光検出効率の低下は
 - ▶ SiPMの発熱に伴う降伏電圧の上昇
 - ▶ 回復時間中のAPDセル数の増加
 - ▶ 電圧降下に伴う超過電圧の低下の3つの要因で説明できることを明らかにした

これらを較正することで月光下観測が可能

- 小口径望遠鏡焦点面カメラの現状の回路設計では、約1 kΩの直列抵抗が使用される予定
 - ightarrow 波高積分値の平均値 $ar{Q}$ は約25 %低下
 - → 電圧降下が波高値低下に最も影響する