

令和 5 年度 (2023) 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：CTA 大口径望遠鏡のための SiPM モジュール開発(3)
 英文：Development of SiPM modules for CTA-LST (3)

研究代表者 齋藤隆之
 参加研究者 齋藤隆之、Daniel Mazin、小林志鳳、手嶋政廣、阿部日向、橋山和明、吉越貴紀、大岡秀行（東大宇宙線研）、窪秀利、岩崎啓（京都大学）、山本常夏（甲南大学）、田島宏康、奥村暁（名古屋大学）

研究成果概要

出力合成および波形整形回路の開発

SiPM を CTA 大口径望遠鏡に搭載するにあたり、その出力波形に留意する必要がある。1 ピクセルあたり 100MHz もの夜光光子が検出されるため、出力パルス幅は 5 ns 以下であることが要求される。R4 年度は浜松ホトニクスが開発した高速な素子 (S13360-3075 CN-UVE、出力パルス~4ns) について様々な性能を調べたが、その死時間の長さは月光下観測においてカメラの性能を著しく低下させることが判明した。R5 年度は、低速な素子 (S13361-2196、出力パルス~100 ns) を用い、読み出し回路によって細いパルスを作ることにした。

Figure 1 にある通り、素子を並列に繋ぎつつも、コンデンサを通して直列にも繋ぐことにより、バイアス電圧を 4 素子に同時にかけて、その合成容量は単体の 1/4 になるようにした。MEG 実験によって考案された方法であるが、それが奏功し Figure 2 にある通り、波形に Fast 成分が見られるようになった。通常の Pole-Zero-Canceller 回路と接続して Slows 成分を落とすことで、3 ns の高速パルスを実現することに成功した。振幅は 1/3 に減衰するが、許容範囲と言える。

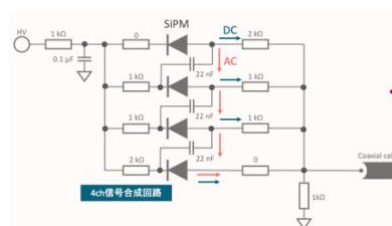


Figure 1: 4素子合成回路

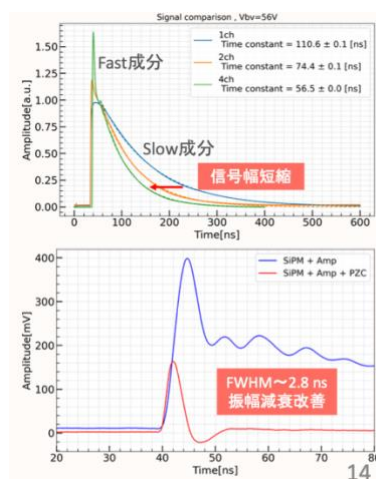


Figure 2: 上) 合成素子数による出力波形の違い。下) 4素子合成した後の波形と、その後 PZC 回路を通った後の波形

出力合成および波形整形回路の開発

SiPM を望遠鏡内で搭載するにあたり、ゲインの温度依存性にも注意する必要がある。S13360-2196 は、図 3 のような温度依存性を持つことがわかった。温度が 1 度変わると、降伏電圧は 60mV 変わり、ゲインは 2% ほど変わる。カメラの温度は比較的安定しているが、より安定した運用のため、温度依存性を一桁落とすべく温度補償回路を開発した。

Figure 4 のような係数アンプとサーミスターを用いた回路を用いる。25 度で 10 kΩ のサーミスターと、3 つの 10kΩ 抵抗でブリッジカイクを形成する。温度が変わるとサーミスターの抵抗値が変わり、係数アンプの入力に電位差が生じる。その差に応じた出力電圧が基準のバイアス電圧に加算され、SiPM にかげられる。温度計数は図中の”DAC”の電圧で変化させることができる。温度係数の最適化と、温度補償の実証がこれから課題である。

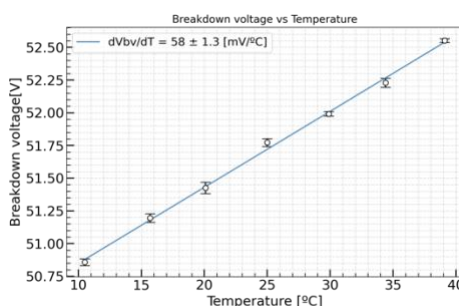
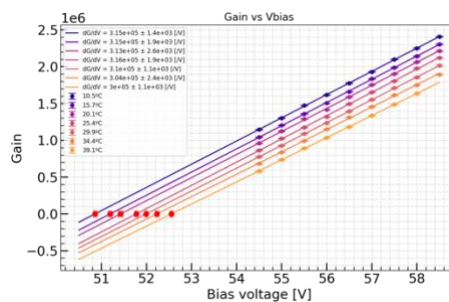


Figure 3: 上)ゲインのバイアス電圧および温度依存性。下) 降伏電圧の温度依存性

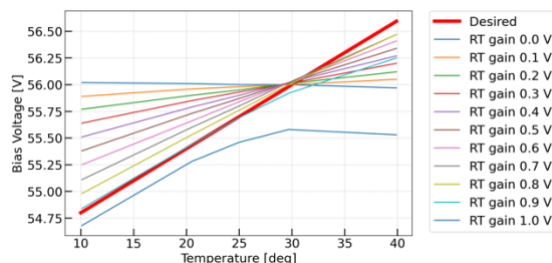
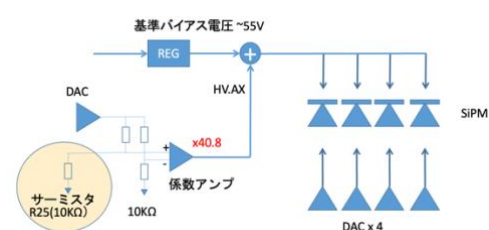


Figure 4: 温度補償回路の概念図 (左) と、実際の出力電圧 (右)

国際会議ポスター発表

- ICRC2023, Nagoya, July 2023, T. Saito et al.,
“Characterization of SiPM and development of test bench modules for the next-generation cameras for Large-Sized Telescopes for Cherenkov Telescope Array”

国内学会口頭発表

- 物理学会 2023 年度春季大会、2024 年 3 月、糸川拓海
“CTA 報告 224: CTA 大口径望遠鏡のための SiPM モジュール開発(3)”