

## 令和 4 年度 (2022) 共同利用研究・研究成果報告書

<p>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 2                  英文：Development of SiPM modules for CTA-LST 2</p>	
<p>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）</p>	
<p>研究成果概要                  2022 年度は、信号読み出しボードの開発と、浜松ホトニクスが開発した新型の SiPM の試験を主に行った。</p> <p style="text-align: center;"><b>1. 信号読み出しボードの開発</b></p> <p>                     現行の LST のカメラで使われている、PMT 読み出しボードを改造する形で開発を行った。現行の PMT カメラでは、一枚のボードで、7本の PMT の信号が読まれるが、プリアンプの段階で High Gain と Low Gain の二系統に分かれている。Low Gain 側は、読み出しボード上でトリガーに寄与せず、メインアンプの倍率も低い。この点を図 1, 2 のように改造することで、14 ピクセル分の信号を読み出せるようにした。帯域を落とすことなく、問題なく 14 ピクセル分が読めることを確認した。ノイズ、線形性、クロストークにも問題はなかった。さらにトリガーも期待通りの動作をすることが確かめられた（図 3）。                 </p> <p style="text-align: center;"><b>2. 新型 SiPM S13360-3075 CN-UVE の試験</b></p> <p>                     SiPM をチェレンコフ望遠鏡に搭載するにあたり、問題の一つが、その信号波形の幅である（典型的には数十から数百 ns）。特に LST の場合、夜光光子が 300 MHz で検出される。信号幅が 3 ns 程度以下でないと、チェレンコフ光の信号に夜光による信号が混じってきてしまう。そのため、PZC 回路による信号波形の整形を考えていたが、浜松ホトニクスが開発した新製品 SiPM S13360-3075 CN-UVE（以降 SiPM-UVE）                 </p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p style="font-size: small;">図 1: シグナルプロセスダイアグラム。現行のボード（上）と 14 pix SiPM 用に改造したボード（下）</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="font-size: small;">図 2: 14 Pix SiPM 用に改造した読み出しボードの写真</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="font-size: small;">図 3: 改造したボードでのトリガーレートスキャン。1000Hz で打ったテストパルスが確実にトリガーされている。</p>

信号幅が 3ns と非常に狭い。これであれば PZC 回路が必要なくなるため、実用に耐えうるのか試験を行った。

信号増幅率やダークカウントレート、オプティカルクロストーク、アフターパルスなどは十分な性能を示していたが、問題となったのが「回復時間」である。図 4 の通り、信号幅は確かに細いが、非常に長いテールを伴っていることがわかる。指数関数的に減衰しており、時定数は  $2\mu\text{s}$  である。このテールの中に次の信号が来た時の波高値を示したのが図 5 である。このテールの間、信号増幅率が落ちていることがわかる。回路シミュレーションやさまざまな測定から、これはクエンチング抵抗が非常に大きいため、アバランシェ増幅が起こったあとにバイアス電圧が回復するのに時間がかかっていることを突き止めた。このことは、信号増幅率だけでなく、光子検出効率も一時的に落ちていることを意味する。

SiPM を採用する目的の一つに、月光下観測がある。SiPM であれば、月光下でも損傷することなく動作させられるからである。しかし、この素子の場合、上記の理由から、月光下では検出効率が落ちるなど、著しく性能を劣化させてしまうことがわかった。浜松ホトニクスに連絡し、パルス幅が大きくなることを許容するので回復時間の短い素子を製造するよう依頼した(クエンチング抵抗の値を小さくすればよい)。

#### 修士論文:

- 岩崎啓、「大気チェレンコフ望遠鏡の性能向上に向けた次世代半導体カメラ開発」、京都大学 2022 年度

#### 国内学会発表:

[1] 橋山和明「CTA 大口径望遠鏡のための SiPM モジュールの開発」日本天文学会 2022 年秋季年会 (新潟大学)

[2] 齋藤隆之「CTA 報告 210:CTA 大口径望遠鏡のための SiPM モジュールの開発(2)」日本物理学会 2023 年春季大会 (オンライン開催)

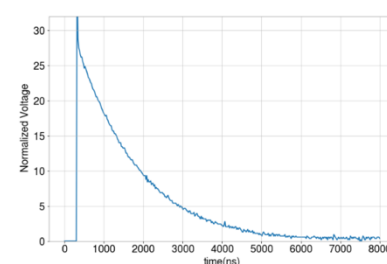
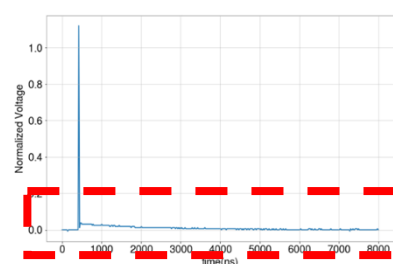


図 4: SiPM-UVE のパルス波形。全体像(上)と、テール部分を拡大したもの(下)

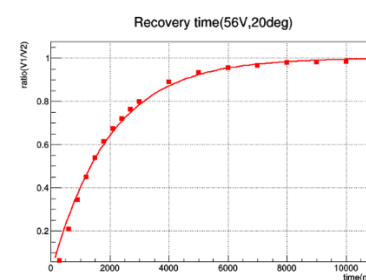


図 5: SiPM-UVE の出力波高回復時間の測定。

二つのパルスが短い時間間隔で到来した場合、二つ目のパルスの波高値が本来の値からどの程度下がるか示したものの。回復には時定数にして  $2\mu\text{s}$  かかることがわかる。