

次世代ガンマ線望遠鏡CTAの大口徑望遠鏡開発における較正用パルサー開発



猪目祐介, 掃部寛隆, 山本常夏(甲南大理), 大岡秀行, 荻野桃子, 高橋光成, 手嶋政廣, 中嶋大輔, 花畑義隆, 林田将 (東大宇宙線研), 小山志勇, 寺田幸功, 松岡俊介, 永吉勤(埼玉理), 梅津陽平, 榎田淳子, 辻本晋平, 友野弥生, 西嶋恭司(東海大理), 折戸玲子(徳島大総科), 片桐秀明, (茨城理), 窪秀利, (京大理), 郡司修一(山形大理), 澤田真理, 馬場彩(青山大理), R. Mirzoyan, 他CTA-Japan Consortium

ABSTRACT

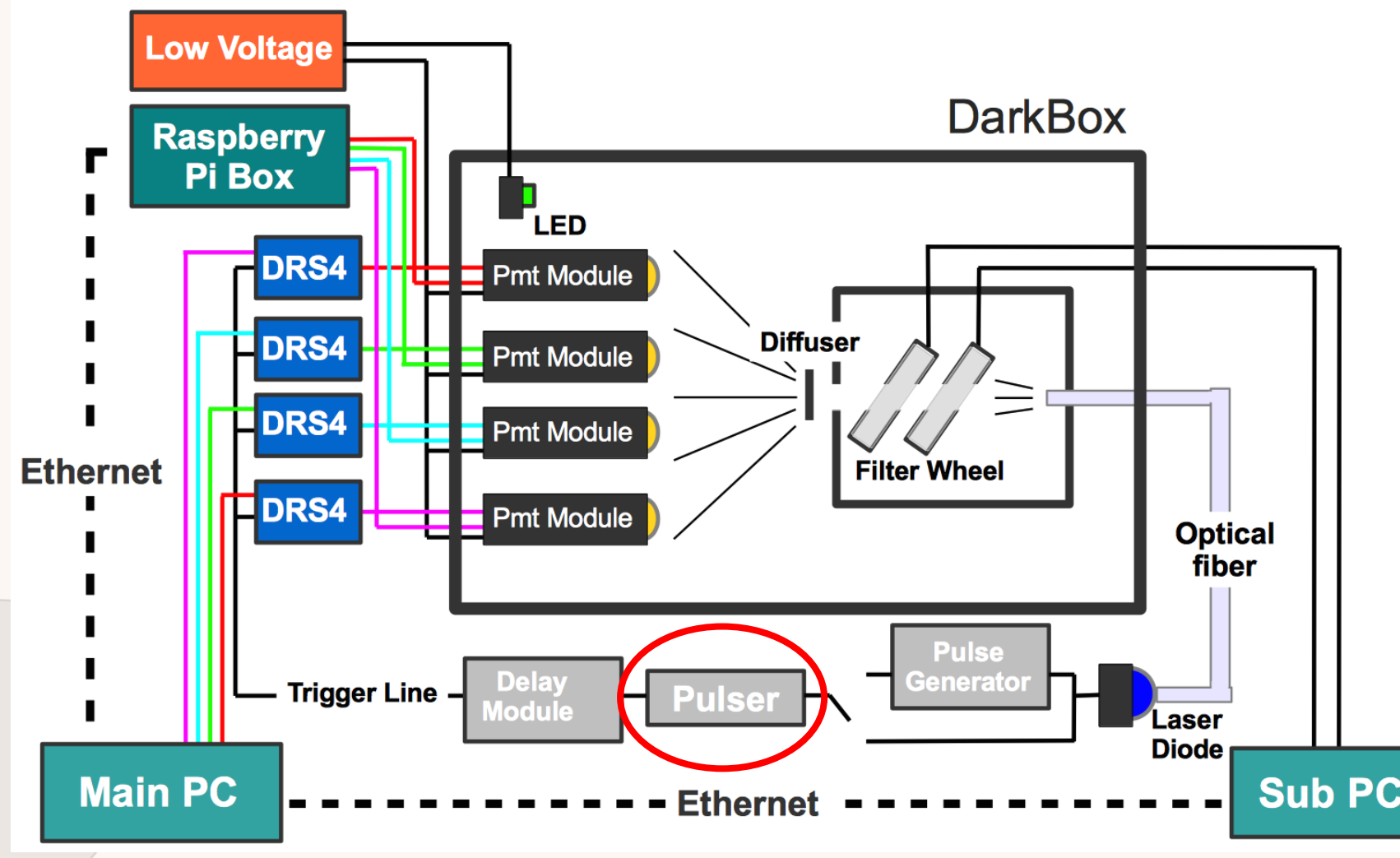
高エネルギー宇宙物理学の更なる発展を目指して、現在Cherenkov Telescope Array(CTA) 計画と呼ばれる国際共同実験が進められている。当計画には世界約30カ国、1200人以上が参加しており、大中小3種類の大きさの大気チェレンコフ望遠鏡を複数設置することで従来の10倍高い感度を達成させ、より広いエネルギー領域の高エネルギーガンマ線源を観測する計画である。日本グループが開発に関わっている大口徑望遠鏡(Large-Sized Telescope: LST)は現在、1台目のLSTを建設する重要な時期に差し掛かっている。このLSTの焦点面検出器には1台あたり1855本の光電子増倍管(PMT)が検出素子として搭載される事となっており、これらのPMTを一つの検出器として運用するために、PMT毎の性能評価と較正を行う必要がある。この性能評価に向けて我々は、FWHM = 1 ns以下の超短光を安定して出力できる事を要求値として、低価格な光源の開発を行った。安価でありながら高速動作可能な電子部品を用いて開発を行った結果、要求値を満たす900 ps幅の超短光を安定して出力可能なパルサーの開発に成功した。

1. Introduction

現在我々は、Cherenkov Telescope Array(CTA)計画において建設される大口徑望遠鏡(Large-Sized Telescope: LST)に検出素子として搭載される約2000本の光電子増倍管(PMT)について性能評価(PMT Calibration Campaign)を行っている。この性能評価では全てのPMTに対して"Signal resolution", "Gain", "Linearity", "After-pulse"の4項目を測定しており、観測対象である大気チェレンコフ光と同等かそれ以上の速さで発光する光源が不可欠である。しかしそのような超短光を出力可能な汎用の装置は大変高価であるため、我々はこの性能評価のみに性能を限定させる事により、低価格でありながら安定して超短光を出力可能な高速パルサーを実現できると考え、開発を行った。(B.S.Acharya et al. Astroparticle Physics 43 (2011))

2. PMTの性能評価

現在までに生産されている2000本のPMTについて、LSTの要求性能を達成させるためにゲインをはじめとする性能の測定を行い、全PMTのデータベースを作成する必要がある。この性能評価は数か月の時間が必要となる予定である。そこで従事者の負担軽減及び測定効率向上と、測定環境の統一を目的に、自動化されたセットアップを準備して性能評価を行う事とした。



PMTの較正試験状況 -> V233a 永吉勤 講演参照

図1は現在稼働しているPMT性能評価のセットアップであり、本講演では赤丸で示したPulsarの開発過程及び性能について発表を行う。

3. パルスジェネレーターボード

1ns以下のパルス幅を電子回路で生成する場合、最低でも500MHzで動作する部品を用いる必要がある。このような高周波回路では部品サイズに起因する浮遊容量によって、想定した動作から外れてしまう事がある。これに対しては周波数特性の良い、小型の表面実装部品を用いる事が望ましい。そのため、使用する受動素子(抵抗等)は0603(寸法: 1.6mm x 0.8mm)サイズとし、光源をドライブさせる能動素子(トランジスタ)は十分な電流を扱って高周波動作可能な物とした。これらより、使用する素子から検討した回路図と試作ボードを図2、図3に示す。短光の光強度調節に用いるバイアス電流は1 mA から120 mA程度まで連続的に調節可能であり、様々な種類の半導体レーザーを用いることが可能である。(Wilfried Uhring et.al (SPIE 2004.))

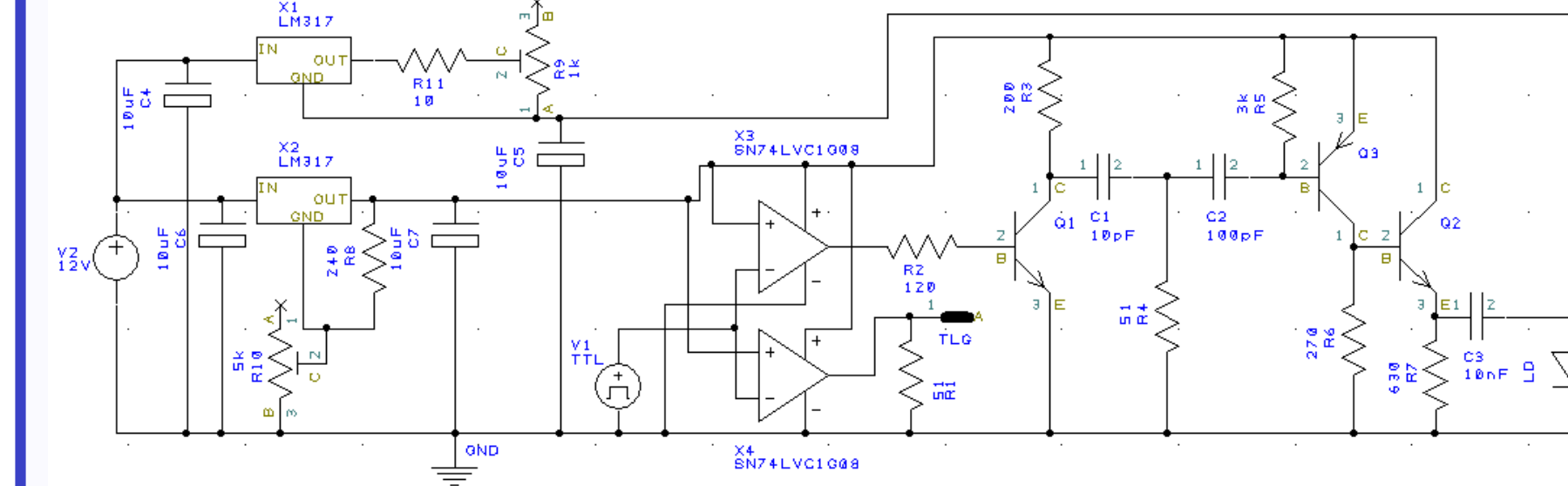


図2. パルスジェネレーター回路図

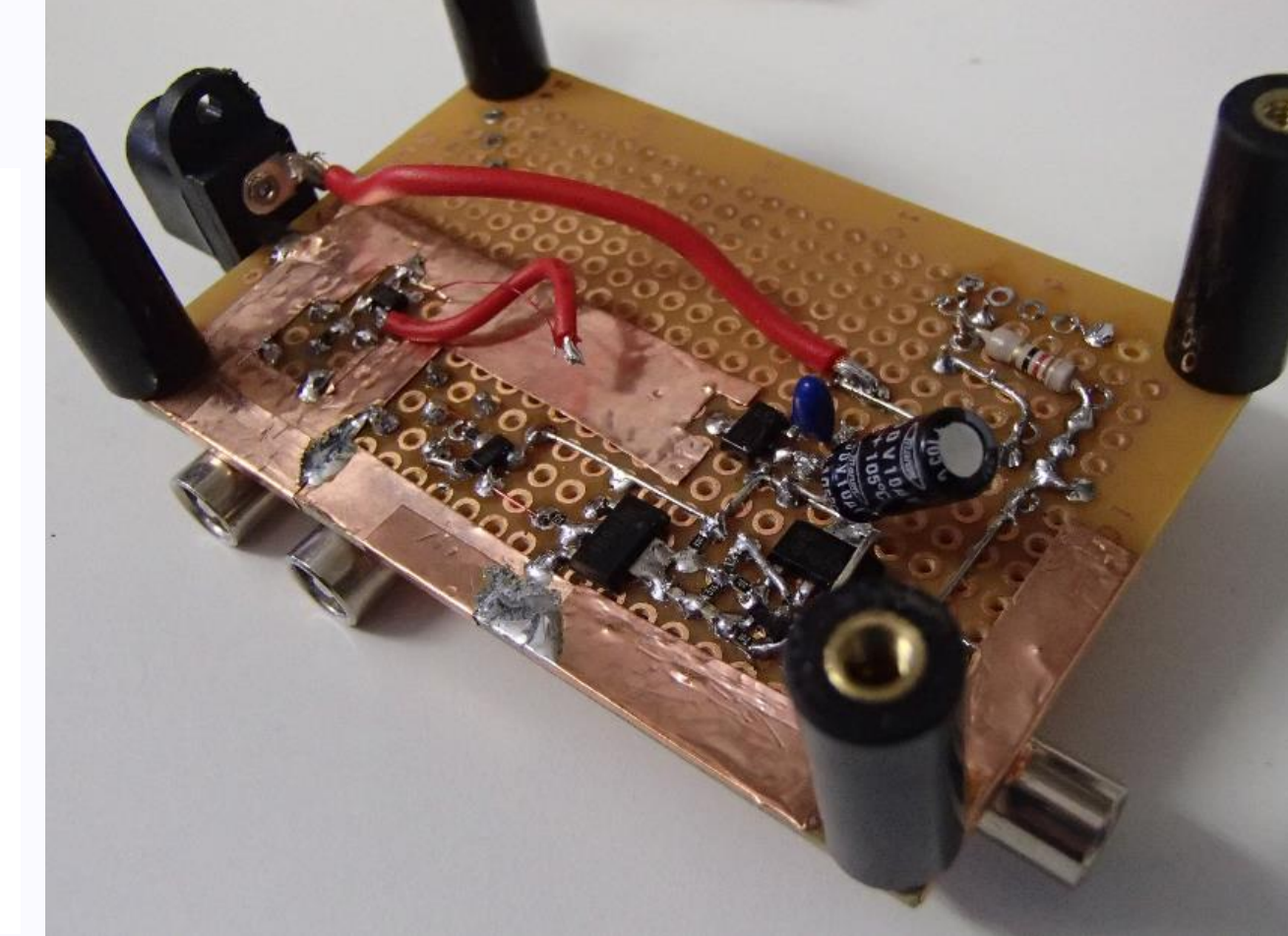


図3. 試作パルスジェネレーターボード

4. 半導体レーザー

光源として日亜化学製の半導体レーザーNDV4212を用いた。この半導体レーザーはチェレンコフ光検出において重要となる短波長帯で発光する。またバイアス電流による発熱量が大きいので、図4のようにアルミ製の放熱板を制作し光ファイバー用のSMA905コネクタを取り付ける事(図5)で、伝達を可能としている。

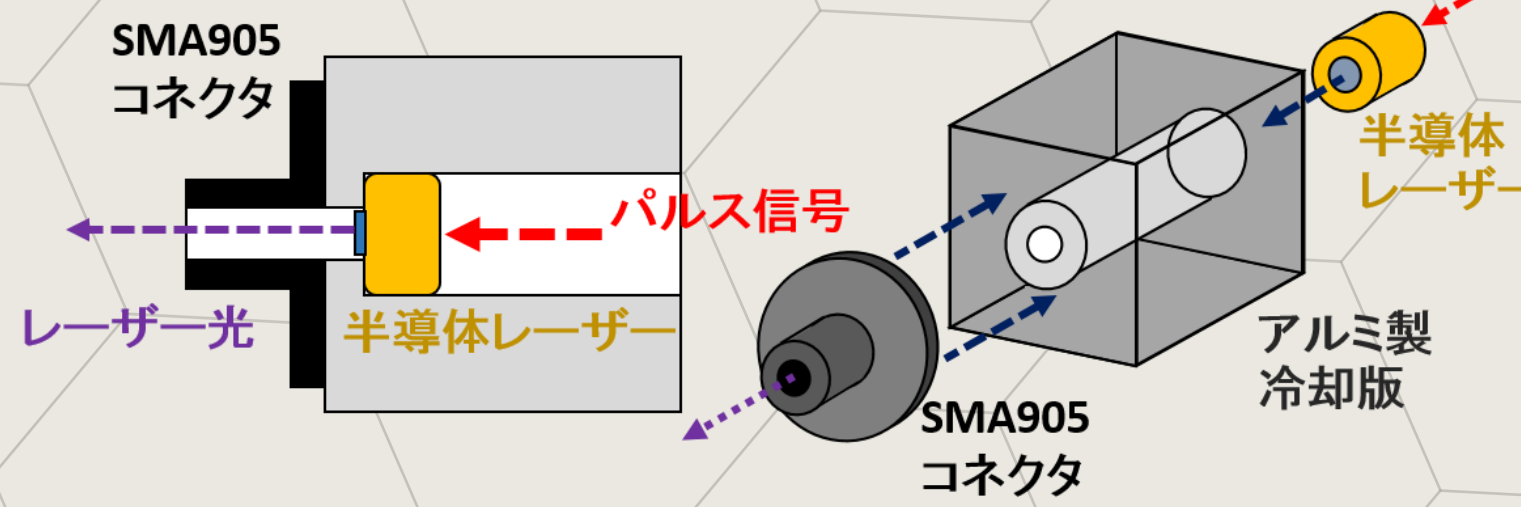


図4. 放熱板と光ファイバーコネクタ

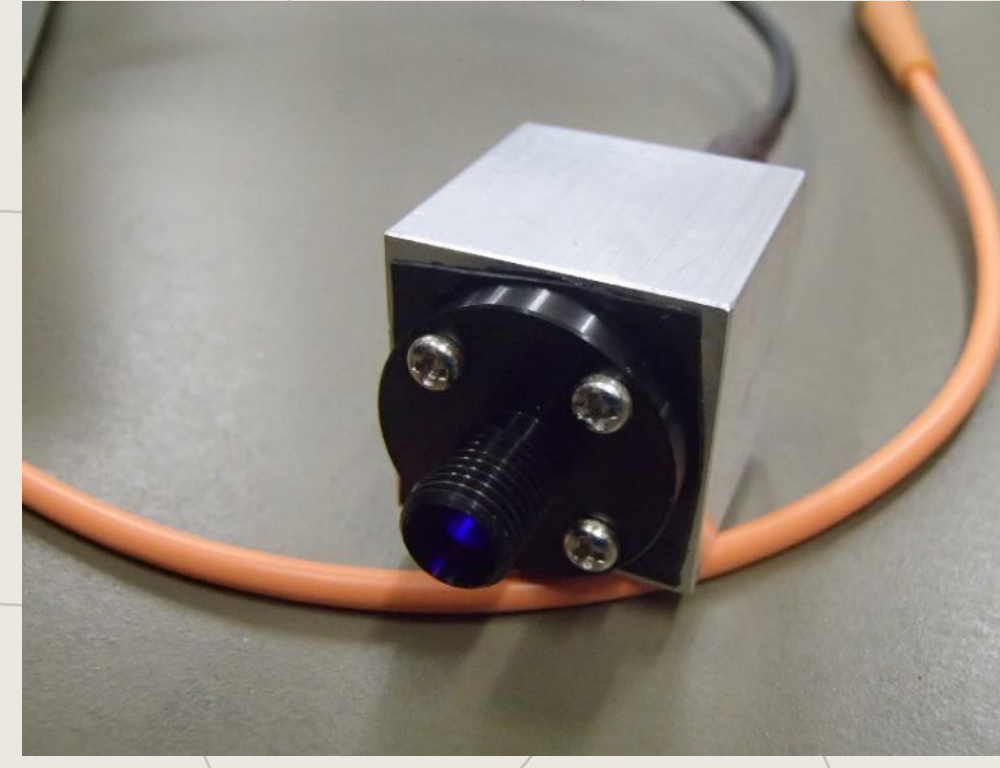


図5. 放熱板と半導体レーザー

5. パルサーの性能評価

開発したパルサーの性能について、要求されている性能を満たしているか、また要求値を明確に設定していなかった部分に関してどの程度の性能を有しているかを確かめるため、図6に示す装置のセットアップを用意して性能評価を行った。性能の評価方法としては、暗箱内の一端に半導体レーザー(4章)と接続した光ファイバーの端を設置して、もう一方にAPD及びPMTの光検出器を設置し短光を観測した。

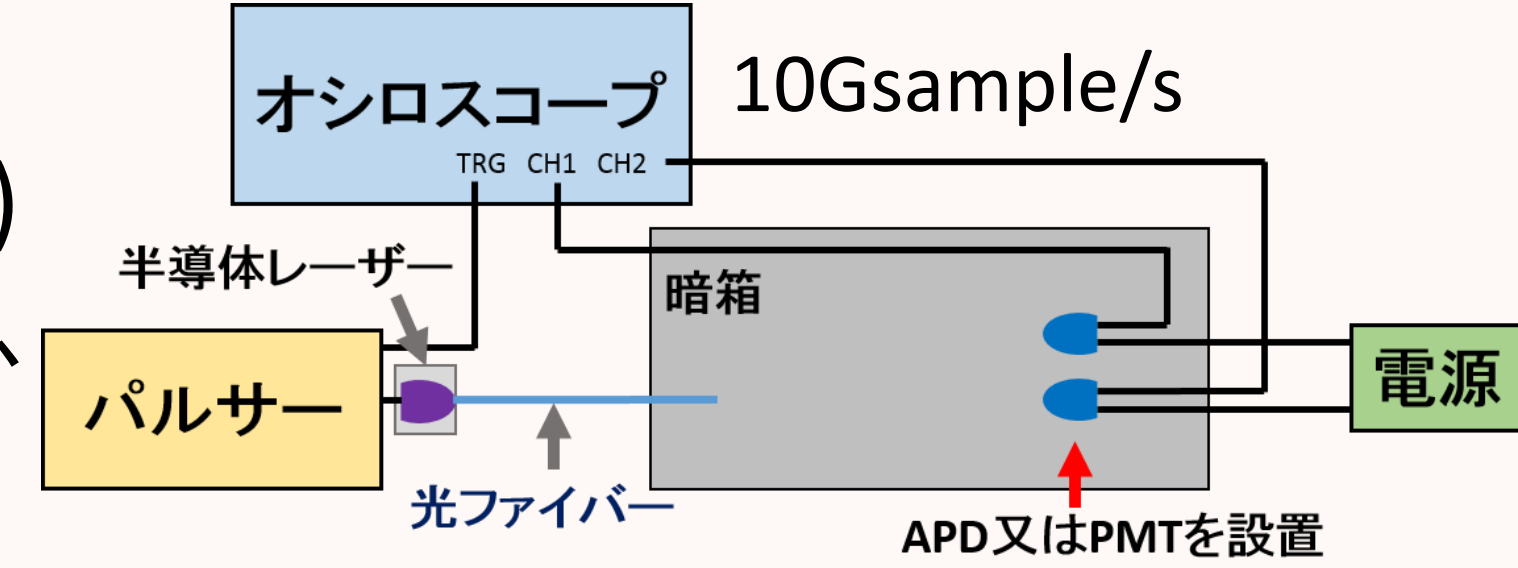


図6. 性能評価のセットアップ

6. 結果

5章で述べたセットアップを使用し、光検出素子には浜松ホトニクス製のAPD(遮断周波数=1GHz)及びLSTで実際に使用するPMTを用いて性能評価を行った。このときPMTで読み出した半導体レーザー光量の時間変化(図7)と、その短光を受光したAPDの出力波形及びパルサーの出力波形(図8)を以下に示す。

この結果から、開発したパルサーは、要求値であるFWHM = 1nsを下回る、800 - 920 ps幅の超短光を出力できる性能を持つ事と、60分間の連続稼働でも光量の変動は2.5%に収まる安定性を持つ事が確認できた。

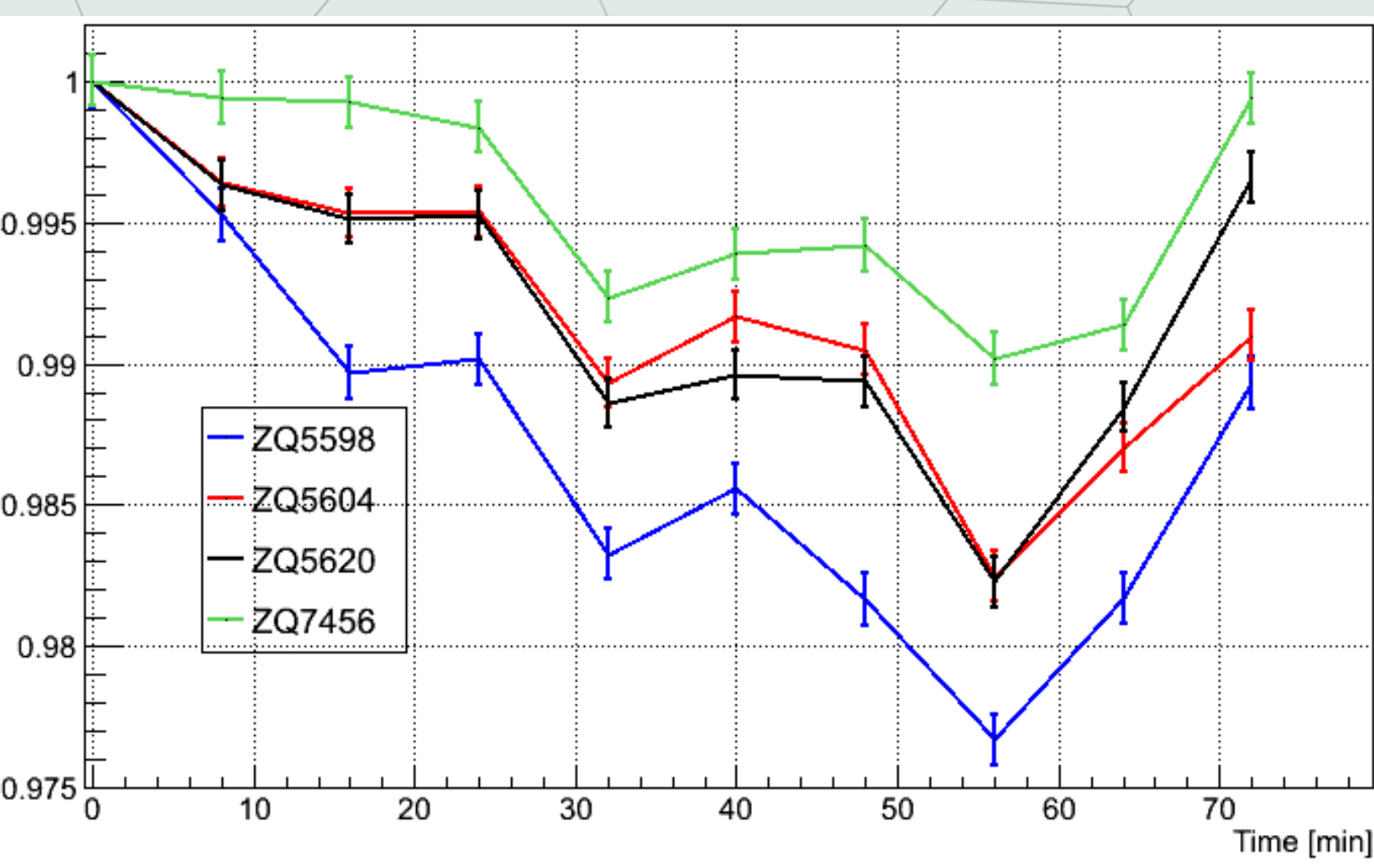


図7. 半導体レーザー光量の時間変化

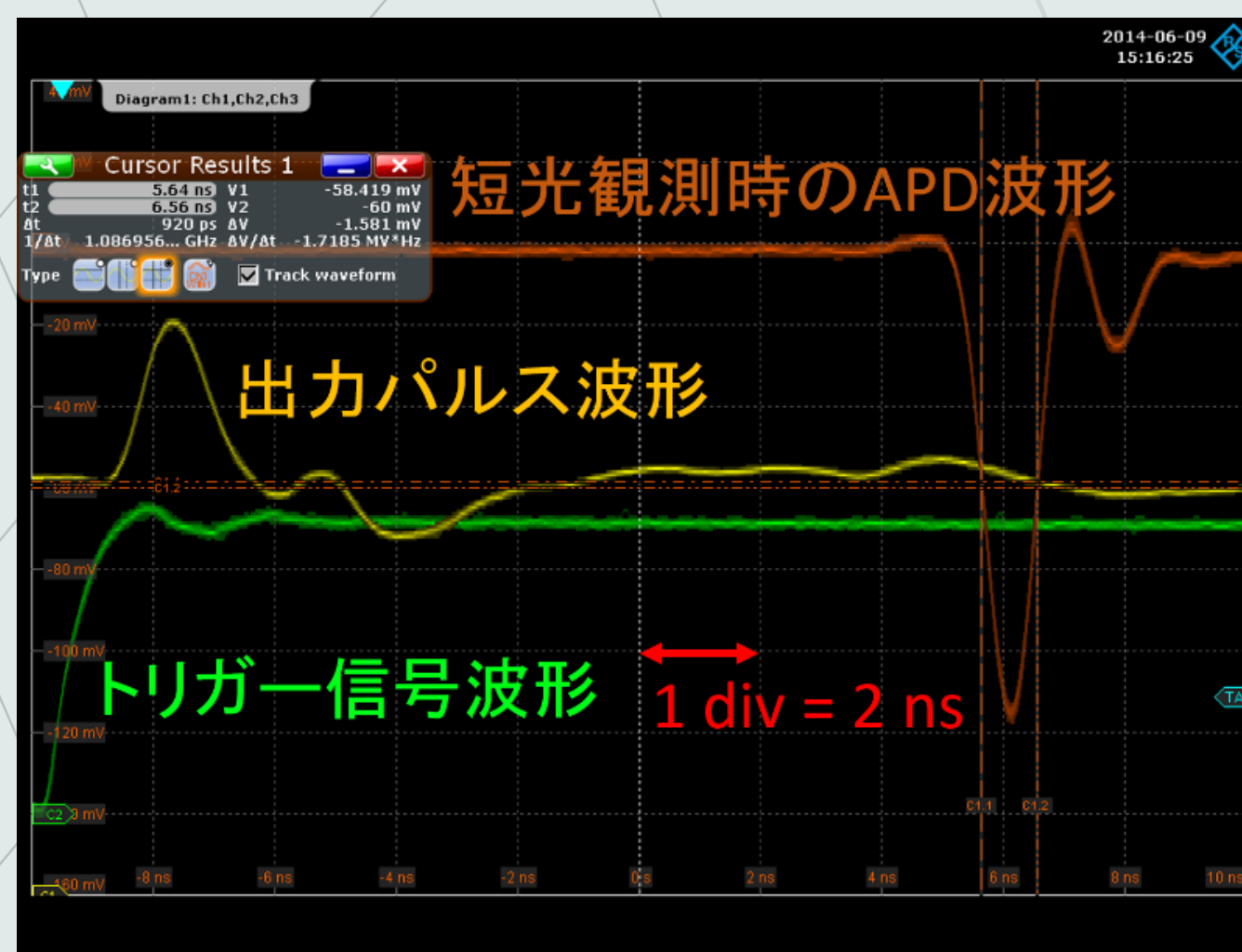


図8. APD信号波形

7. パルサー性能

パルサー単体での性能評価の結果を表1に、前述の半導体レーザーを取り付けて行った性能評価の結果を表2に示す。

表1: 開発したパルサーの性能

表2: 半導体レーザーNDV4212使用時の性能

項目	値	項目	値
動作電圧	9 - 12 V (max = 15V)	NDV4212動作電圧	4.6 - 5.5 V
消費電力	500 mA以下 (300Hz動作で常時最大200mA)	NDV4212動作電流	100 - 130 mA
出力パルス高	3.0 - 7.0 V	NDV4212発光波長	405 nm
出力パルス立ち上がり時間	600 - 660 ps (10 - 90%)	パルサー接続時の発光時間幅	800 - 920 ps (FWHM) (パルス高により変動)
出力パルス幅	1.1 - 1.2 ns (FWHM)	パルサー接続時の発光強度	1 - 100 phe 以上
出力バイアス電流	1 - 120 mA		
Sync信号	TTL準拠 (5 V)		
トリガー信号	内部 & 外部入力切り替え可能		
内部トリガー周波数	1 - 999 Hz		

8. 今後の展望

現在完成しているパルサーは、PMTの性能評価に用いる点においては要求される性能を満たしているが、大電流を消費する半導体レーザーのドライブをバイアス電流に頼っている事や、低い光量(出力電流)、回路内のリングングによると思われる波が発生しているなど、改善を必要とする点も見つかっている。これについて、今回と異なる素子でも試作を行い性能の改善を行っていく予定である。また現在のパルサー構成についても、回路の見直しや0402(寸法: 1.0mm x 0.5mm)サイズの素子を用いる等、さらなる小型化を行いパターンを生成する事で、ノイズの削減やパルス幅をより狭めるなどの機能向上が見込まれる。このように当初の要求値は達成できているが、更なる改良を行っていく予定である。

Reference

Wilfried Uhring, Chantal-Virginie Zinta & Jeremy Bar-tringer, A low cost high repetition rate picosecond laser diode pulse generator. Proc. SPIE 5452, Semi-conductor Lasers and Laser Dynamics, (1 September 2004); doi: 10.1117/12.545038.
B.S.Acharya et al. Astroparticle Physics 43 (2011);
ATmega328P <http://www.atmel.com/ja/jp/devices/ATMEGA328P.aspx> (access 2014/07/16).
Arduino-ArduinoBoardUno <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno> (access 2014/07/16).