

APD読み出し結晶シンチレーション検出器 の宇宙線による特性評価

奈良女子大学

高エネルギー物理学研究室 4回生

岡本美咲

目次

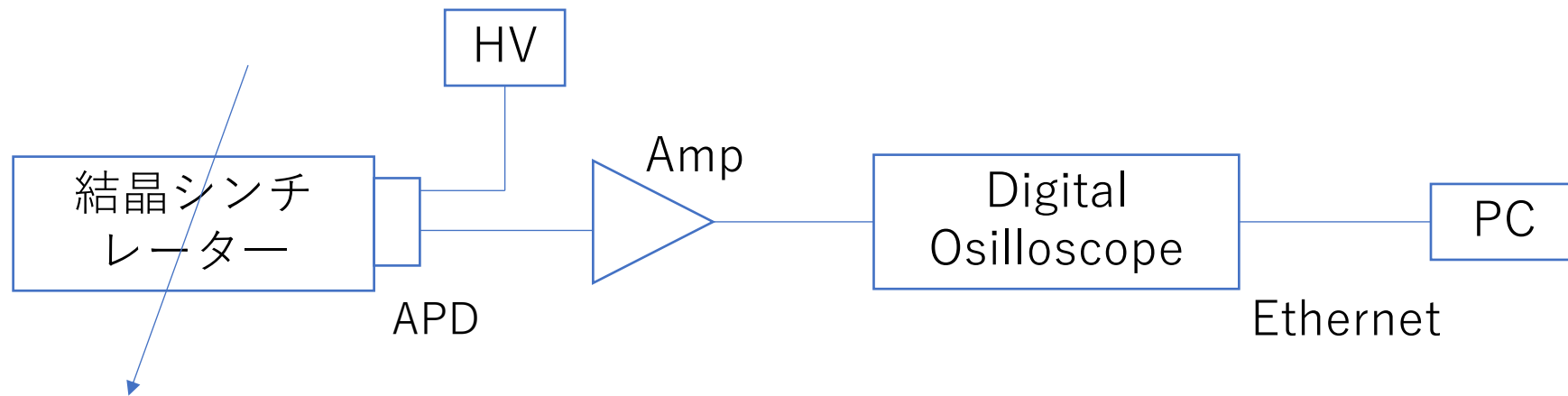
1. はじめに
2. 測定準備
3. 測定
4. 課題・まとめ

目次

1. はじめに
2. 測定準備
3. 測定
4. 課題・まとめ

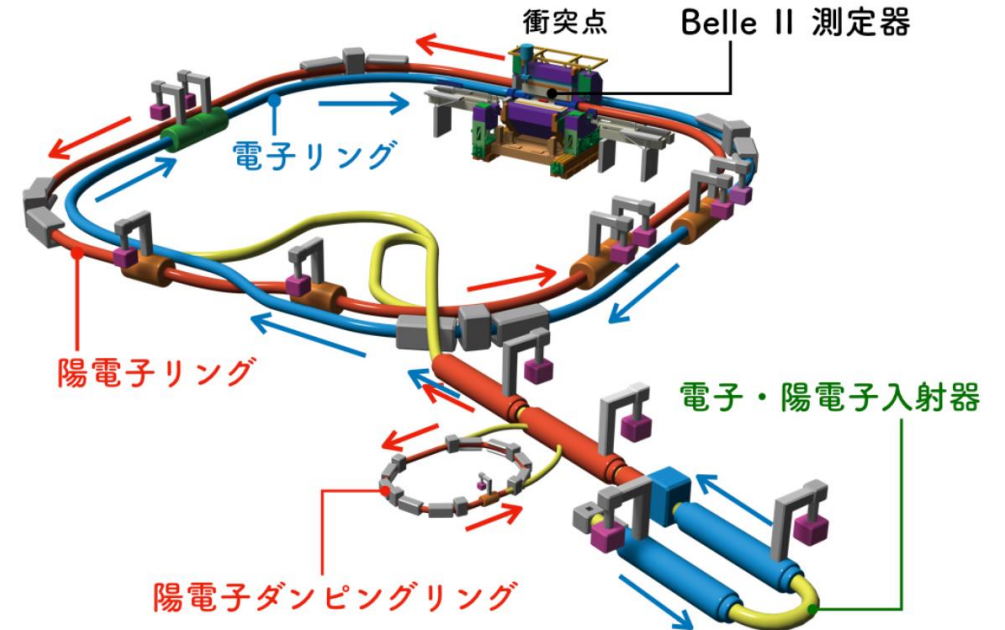
概要

- APD読み出し結晶シンチレーション検出器の宇宙線による特性評価を目指す
- 本研究では、従来のTektronix製ではなく、Teledyne Lecroy製のデジタルオシロスコープを使用する。そのため、PCとオシロスコープを接続する環境を整える



SuperKEKB/Belle II 実験

- 茨城県つくば市の高エネルギー加速器研究機構で行われている高エネルギー物理学実験
- 衝突型加速器(SuperKEKB加速器)では7GeVの電子と4GeVの陽電子を衝突させ、B中間子・反B中間子を生成
- 粒子・反粒子の対称性の破れや新しい物理法則の兆候を探索することが目的



引用元：

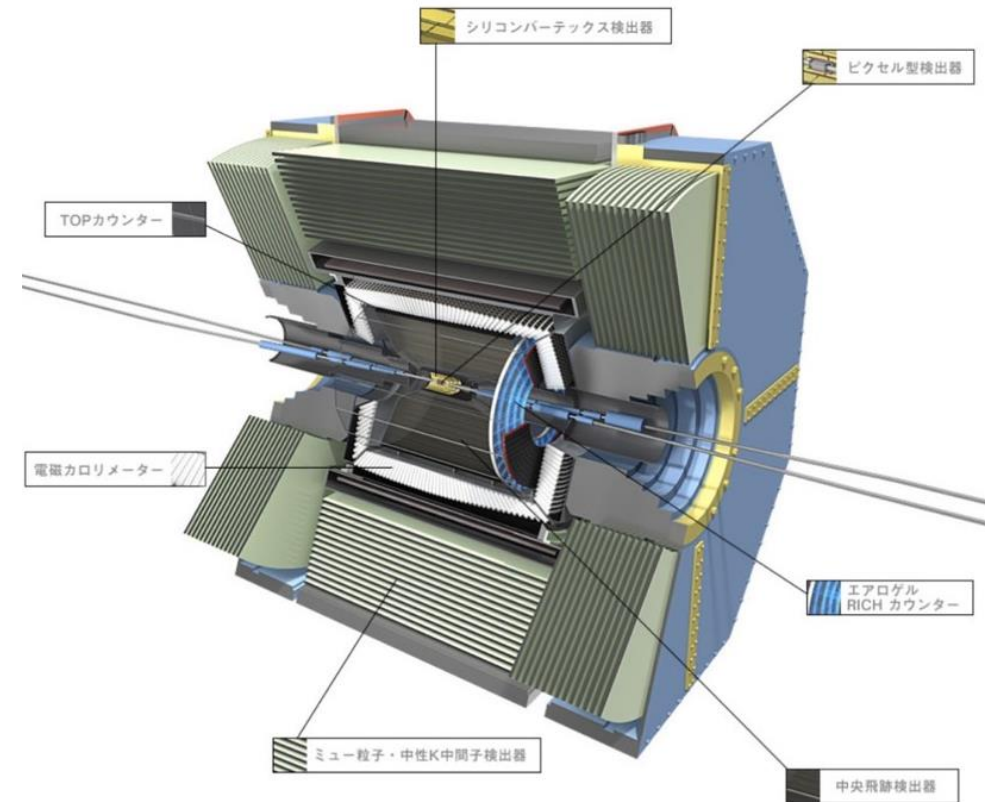
<https://www.kek.jp/ja/about/pr/image/12548>

Bell II 測定器

- 7GeVの電子と4GeVの陽電子を衝突させる衝突型加速器(SuperKEKB加速器)の衝突点に配置されている
- ビームパイプを中心として、衝突点の周囲を覆うように配置された役割の異なる7種類の検出器で構成

[電磁カロリメーター]

電磁シャワーを利用して γ 線や電子のエネルギー損失を測定



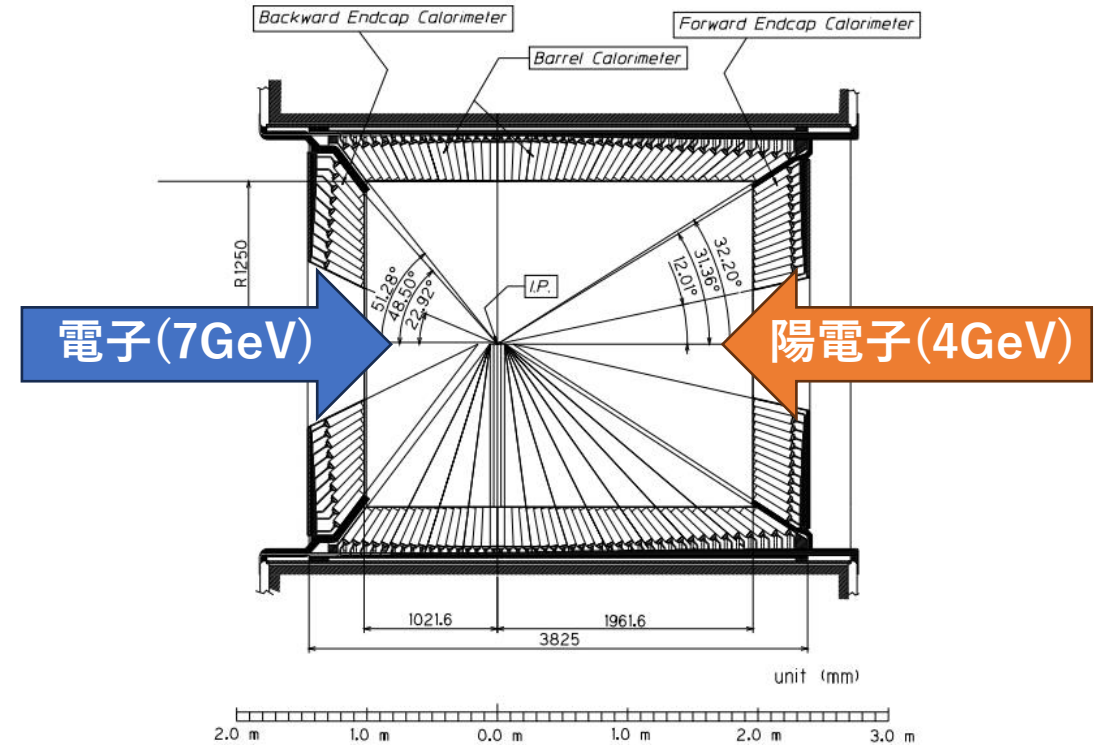
引用元：<https://belle2pb.kek.jp/Detector/>

電磁カロリメーター

- シンチレーターで電磁シャワーが起こった際に発する、エネルギーに比例した量の光を電気信号として読み出す
- 現在のBelle II測定器では8736本のヨウ化セシウム(CsI(Tl))結晶とフォトダイオードを用いている
- 数十MeV～数GeVの広い範囲のエネルギーを検出可能だが、 γ 線の到来方向への感度は乏しい

[結晶シンチレーター]

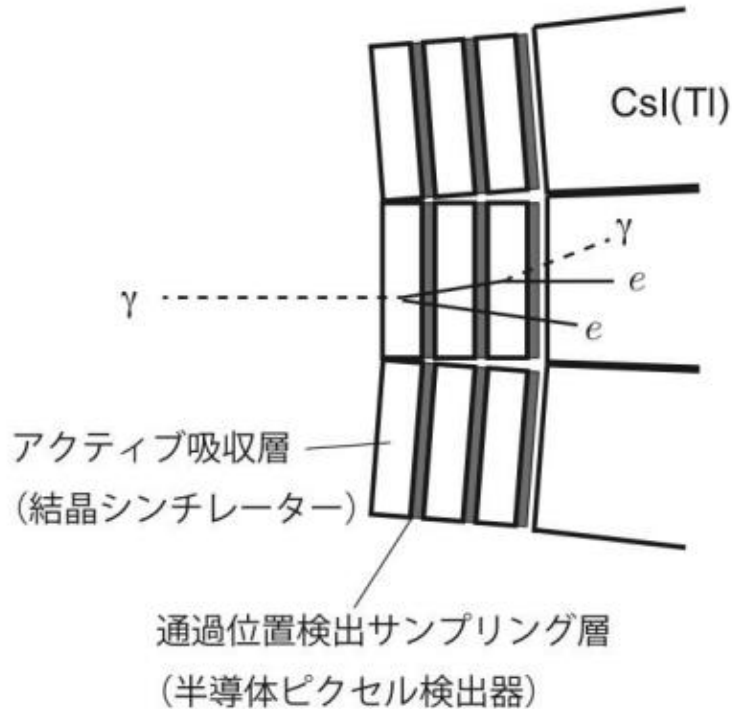
粒子が入射してエネルギー損失を起こした時に蛍光を発する物質



引用元：

<https://www.jahep.org/hepnews/2014/14-2-6-BelleIIECL.pdf>

プリシャワー検出器



- 電磁シャワーを発生させつつそのエネルギー損失を測るアクティブ吸収層と、シャワー中の電子陽電子の通過位置を検出するトラッキング層で構成
- アクティブ吸収層とトラッキング層を一層として、厚み方向に三層並べている
- 一層毎にシャワー中の電子・陽電子の通過位置が分かるため、 γ 線の到来方向が分かる
- 吸収層部分を通過中のエネルギー損失を測定するために**結晶シンチレーター**を使用

引用元：https://webhepl.cc.nara-wu.ac.jp/old_HP/thesis/4kaisei/2022/okada_pptx.pdf

Fast-LGSOシンチレーター

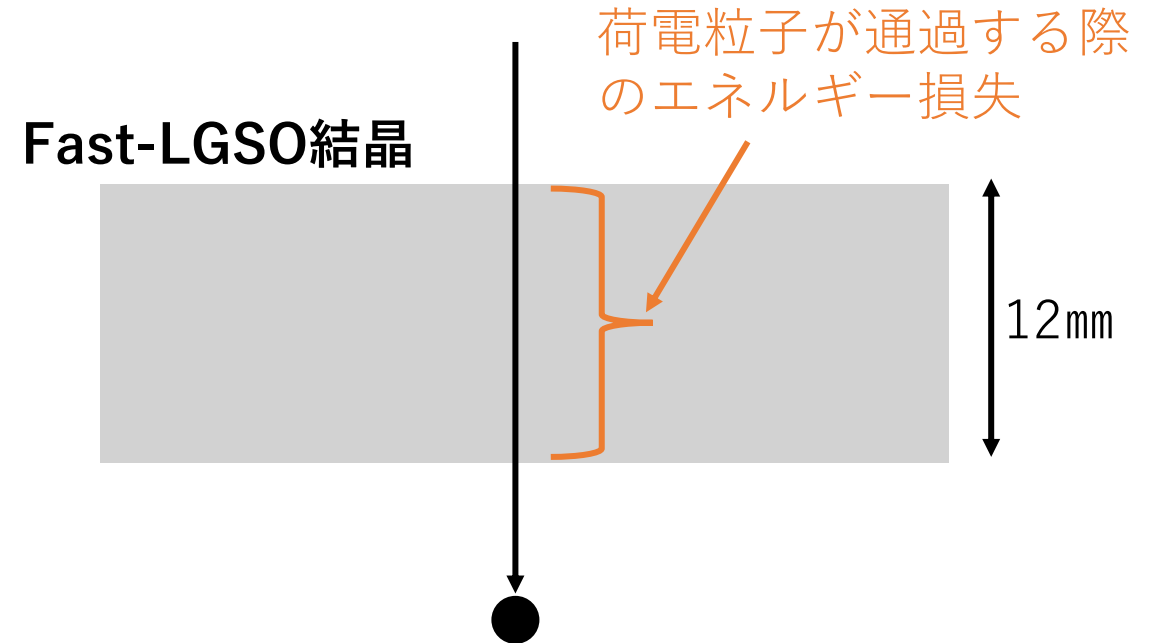


	Fast-LGSO	CsI(Tl)
蛍光出力(NaI(Tl) = 100)	~90	165
減衰時間(ns)	30~36	1300
密度(g/cm ³)	7.3~7.4	4.51
吸湿潮解性	無	若干有
発光波長(nm)	410	560

- 発光時間が短いのでパイルアップ軽減
- サイズ：40.0mm×40.0mm×12.0mm
- 反射材の白色GoreTexシートで包んでいる
- 光検出器の受光面の大きさに合うように窓を開けている

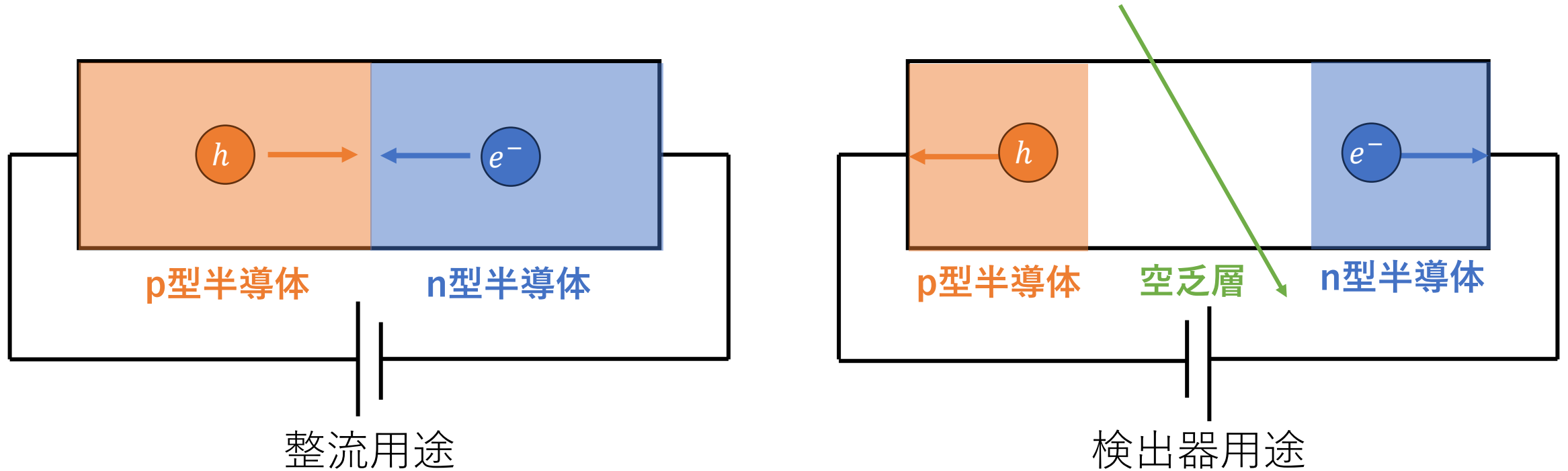
結晶シンチレーターでのエネルギー損失

- 荷電粒子が物質を通過すると励起や電離によってエネルギーを失う
- 地表に到来する宇宙線 μ 粒子はほぼMIP (Minimum Ionizing Particle) であると考えられる
- このとき荷電粒子は $1\text{g}/\text{cm}^3$ の物質を 1cm 通過する時に約 2MeV 失うとする



本研究で使用する厚み12mmのFast-LGSO結晶でのエネルギー損失は
$$2[\text{MeV}] \times 7.4[\text{g}/(\text{cm}^3)] \times 1.2[\text{cm}] \cong 17.8[\text{MeV}]$$

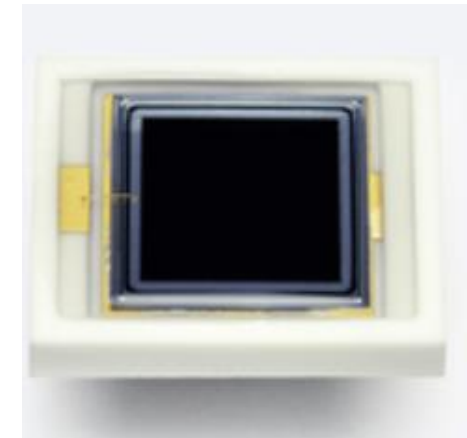
半導体検出器 ダイオード



- ダイオードはp型半導体とn型半導体を結合
- 逆バイアスを印加すると正孔がp側、電子がn側に引き寄せられ空乏化
- 空乏層に光の入射や荷電粒子の通過があると、光電効果や電離により電子正孔対が生成されて電流が流れる→信号パルスとして取得

APD(avalanche photodiode)

- 半導体の内部に強い電場勾配を作ること
で電子雪崩を引き起こし、信号を増倍さ
せる機能を持つ半導体素子
- 降伏電圧以下の電圧で電子雪崩を作り、
数十～百倍程度の増幅率で、APDに入射
した光量に比例した電荷量の出力を示す
- 本研究では浜松ホトニクス社製の
S8664-55を使用。これはプロポーショ
ナルモードで使用する目的で設計・製造
されたもの



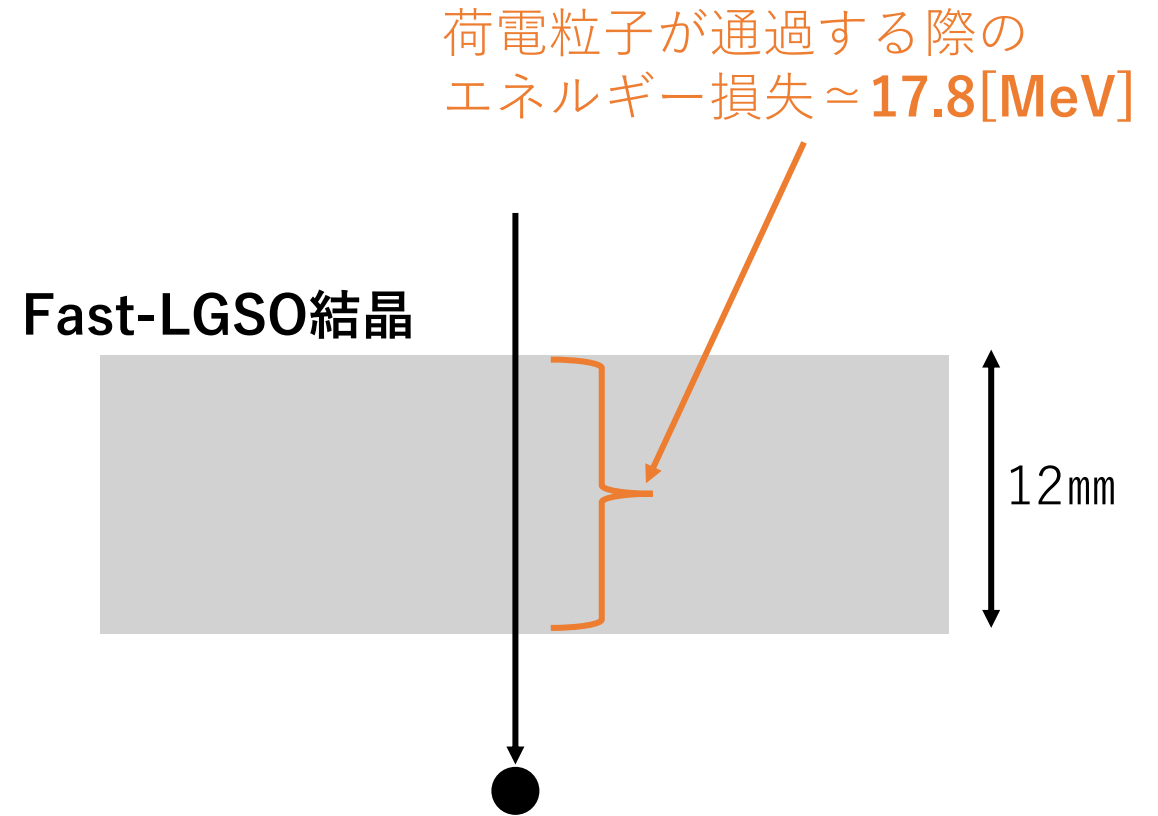
APD(S8664-55)

引用元：<https://www.hamamatsu.com/jp/ja/product/optical-sensors/apd/si-apd/S8664-55.html>

研究目的

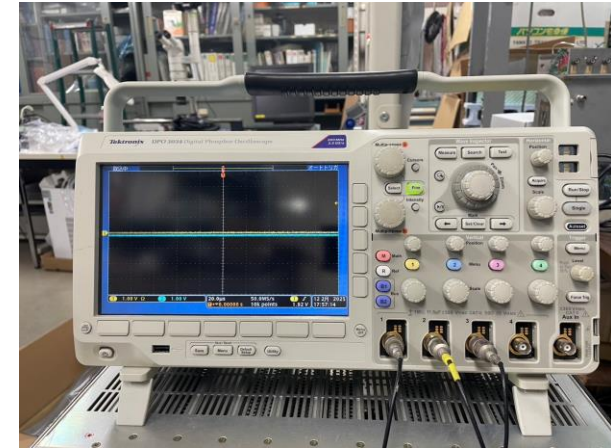
- 先行研究ではアクティブ吸収層にFast-LGSO結晶 + APDを用いて光量を測定した
- エネルギー損失が小さい領域にイベントの集中が見られたため、通過した長さが顕著に短いイベントの混入によるものなのか検討が必要

本研究では処理速度の速いオシロスコープを使用し、Fast-LGSO結晶 + APDを用いた宇宙線測定を行った。

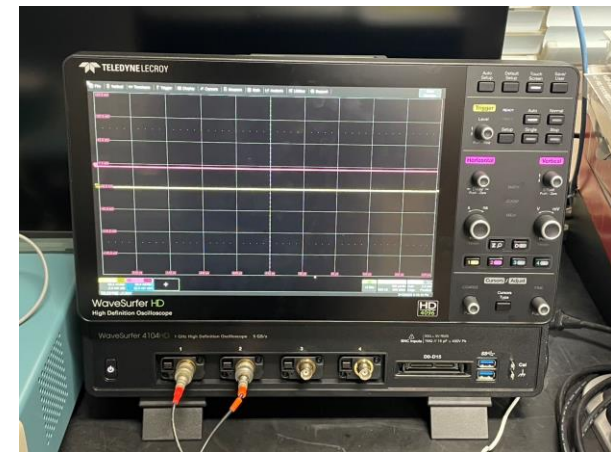


オシロスコープ

	DPO3034	WaveSurfer4104HD
アナログ帯域幅	300MHz	1GHz
立ち上がり時間	1.17ns(5mV/div)	450ps(10-90%)
分解能	8bit	12bit
サンプルレート	2.5GS/s	5GS/s
レコード長	5Mpts/ch	12.5Mpts/ch
波形更新レート	最大50,000波形/s	最大130,000波形/s



Tektronix DPO3034



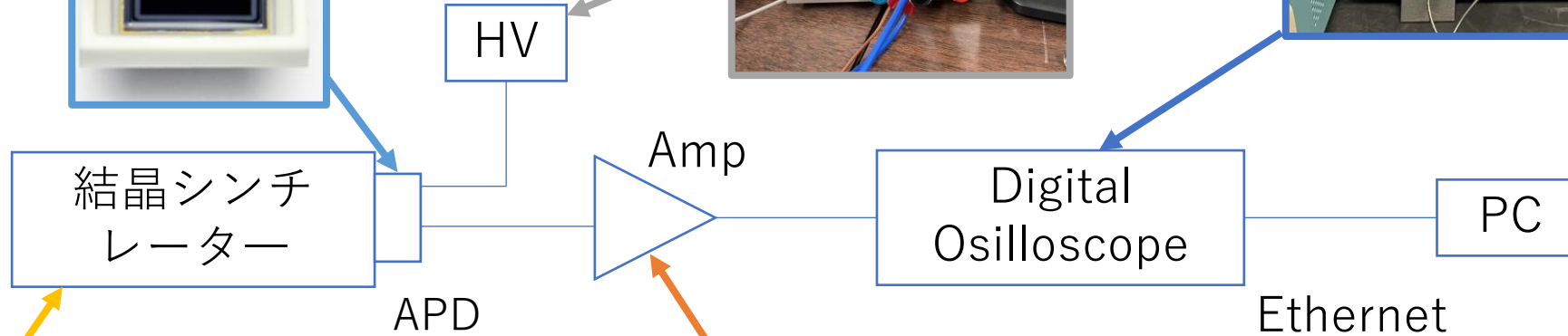
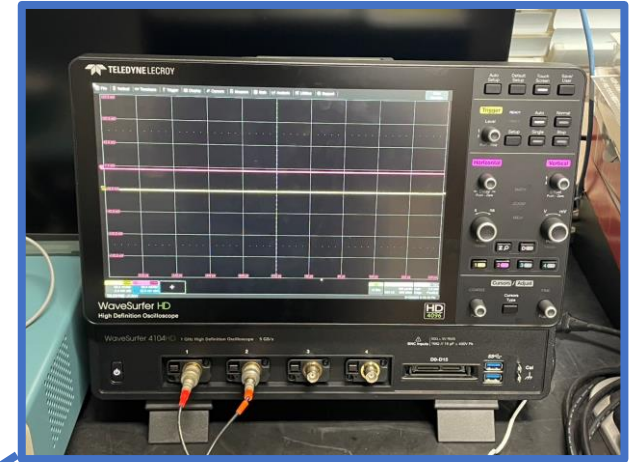
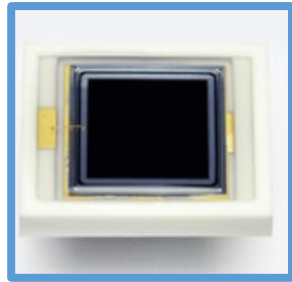
Teledyne Lecroy
WaveSurfer4104HD

→WaveSurfer4104HDの方が高速信号の解析、長時間記録、高精度の波形解析(ノイズの影響が少ない)が可能で、過渡現象も捉えやすい

目次

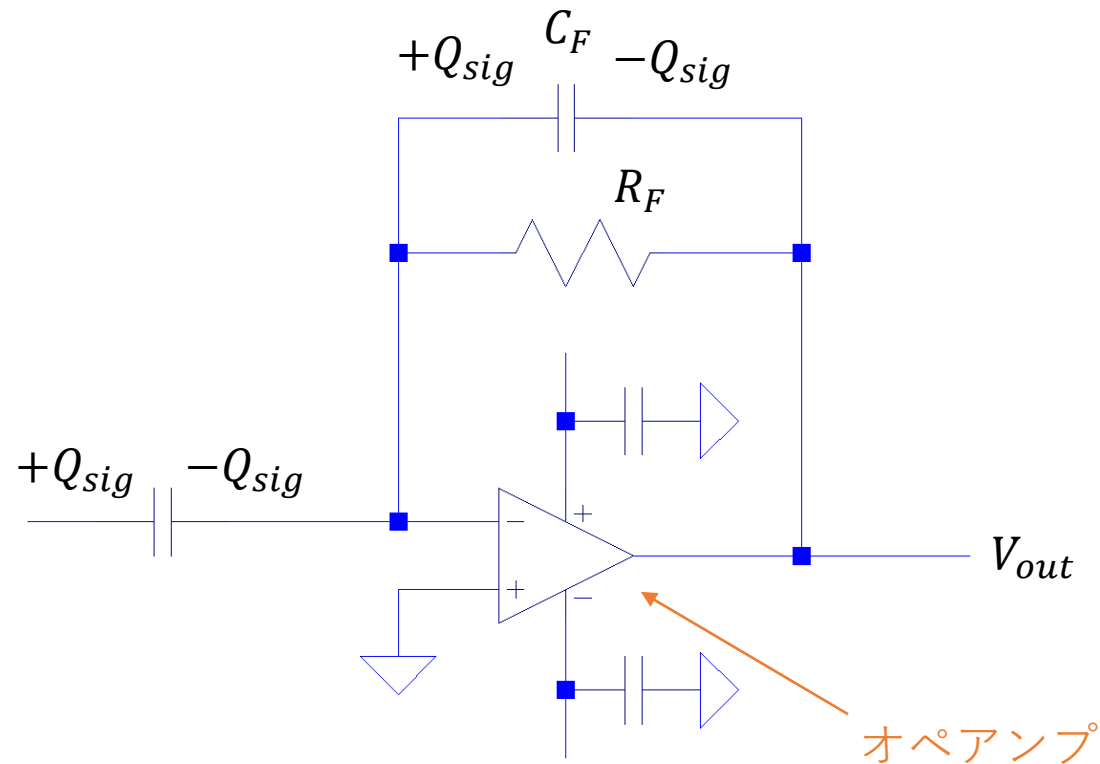
1. はじめに
2. 測定準備
3. 測定
4. 課題・まとめ

測定準備 概要



- Amp(チャージアンプ+フォロワー回路)は自作
- 電気信号を増幅する装置
- APDは増幅率が小さく信号が微弱なため、信号を見るためにはAmpが必要

チャージアンプ

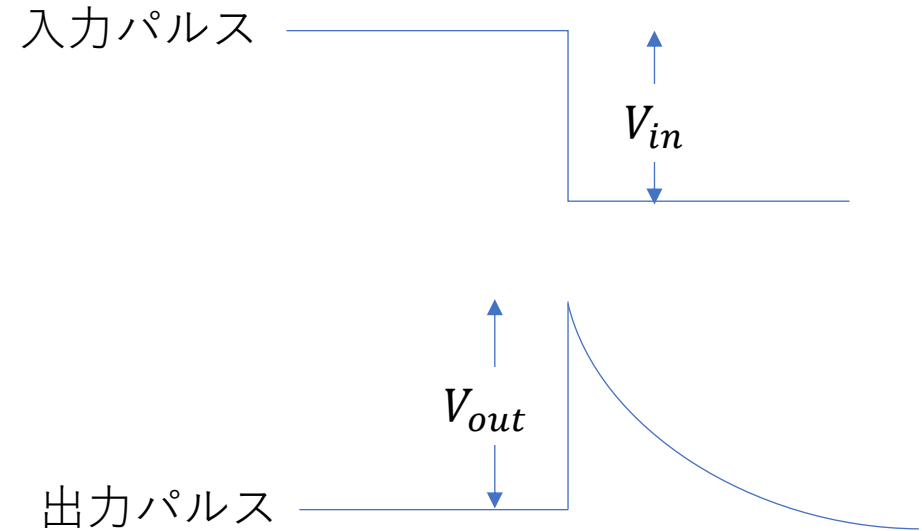
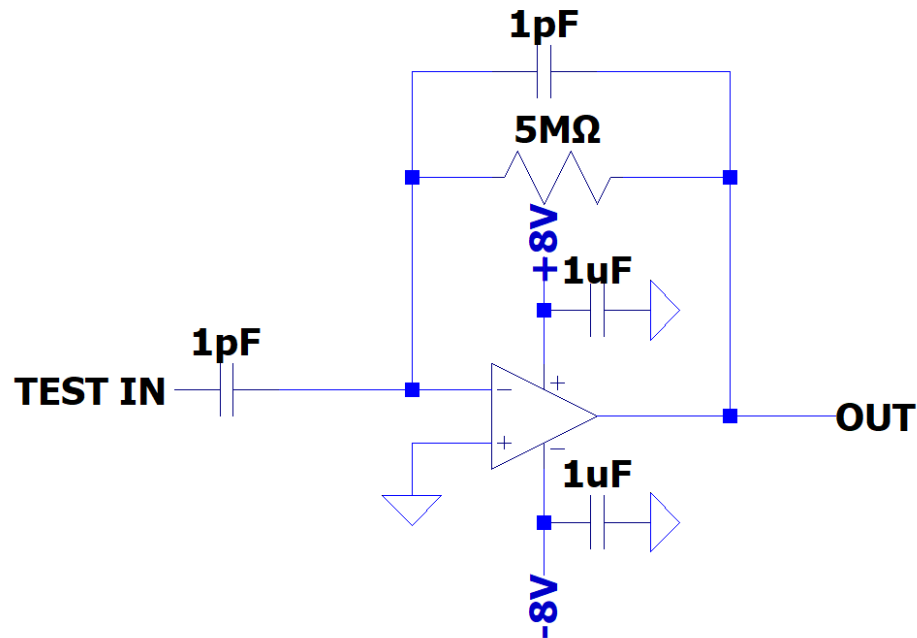


- チャージアンプは信号電荷を電圧に変換する増幅器
- 信号電荷 Q_{sig} を入力パルスで与えた時の出力信号

$$V_{out} = -\frac{Q_{sig}}{C_F} \times e^{-\frac{t}{C_F R_F}}$$

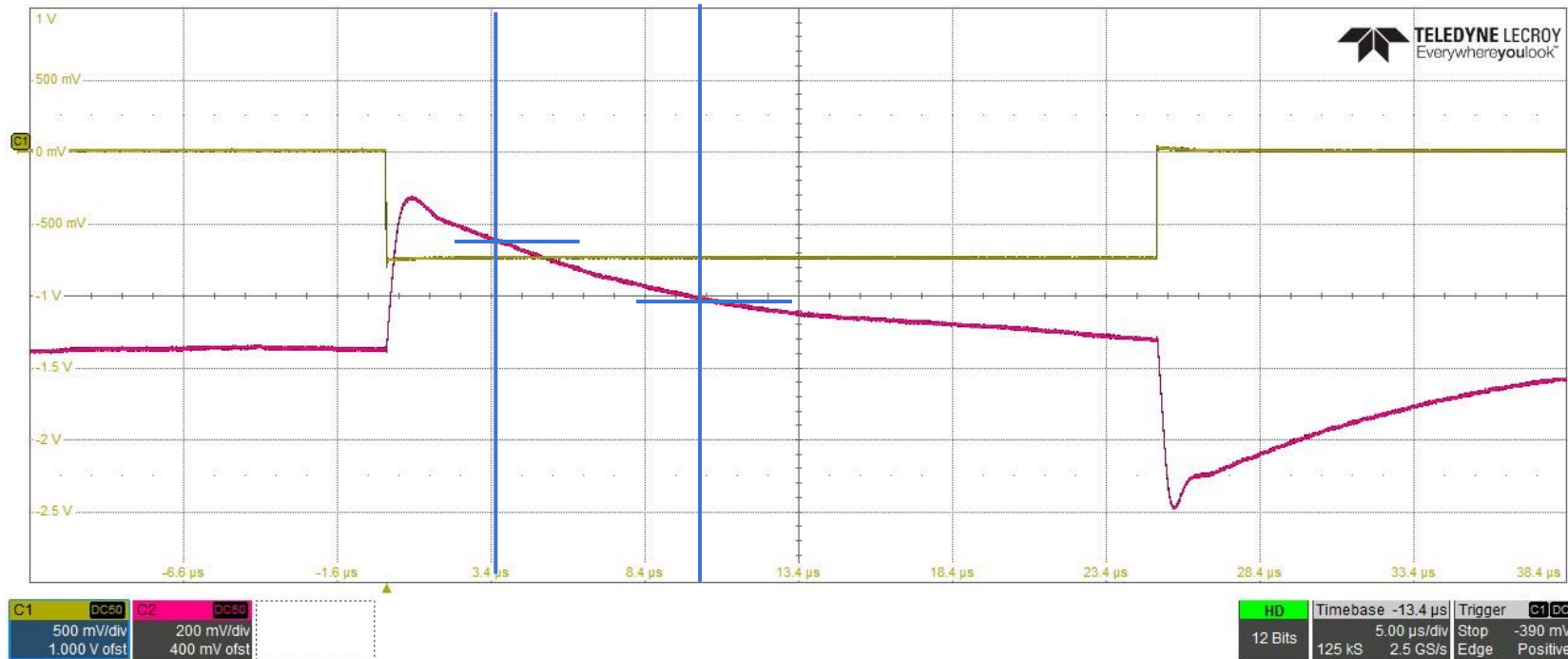
- 時定数 τ は $\tau = C_F R_F$ で決まる

チャージアンプ製作 回路図



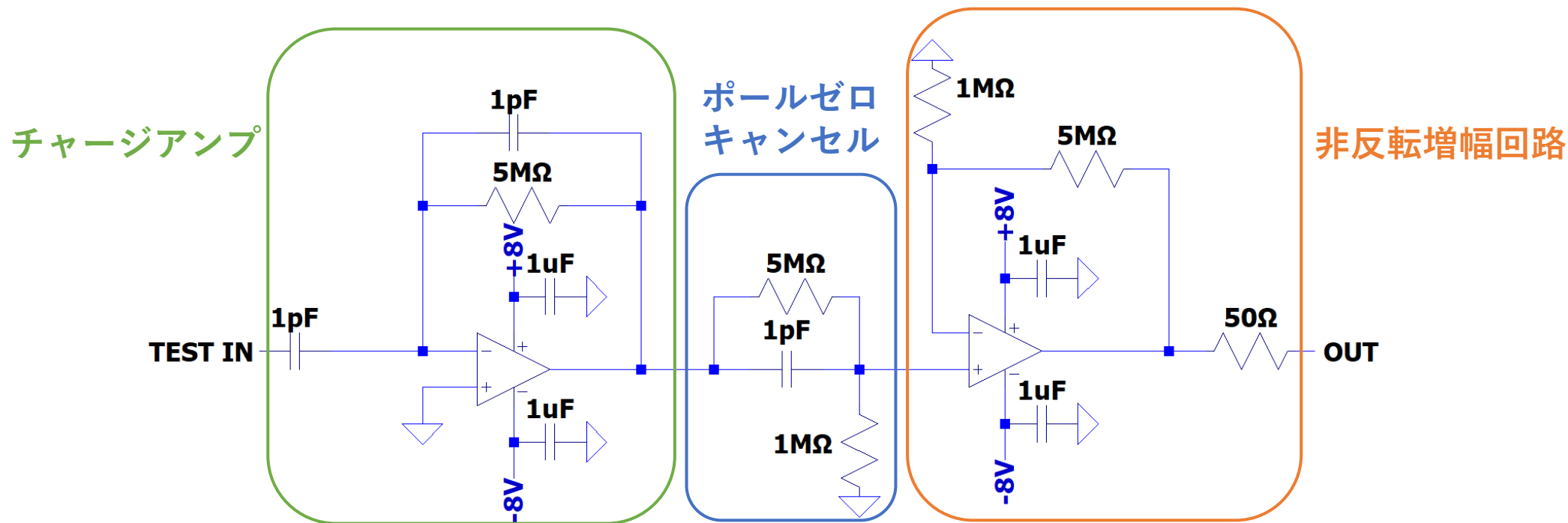
- オペアンプはTEXAS INSTRUMENTS社のLM6142を使用
- TEST INに右上のような矩形波を入れた時の出力は右下のような波形になる

チャージアップ動作確認結果



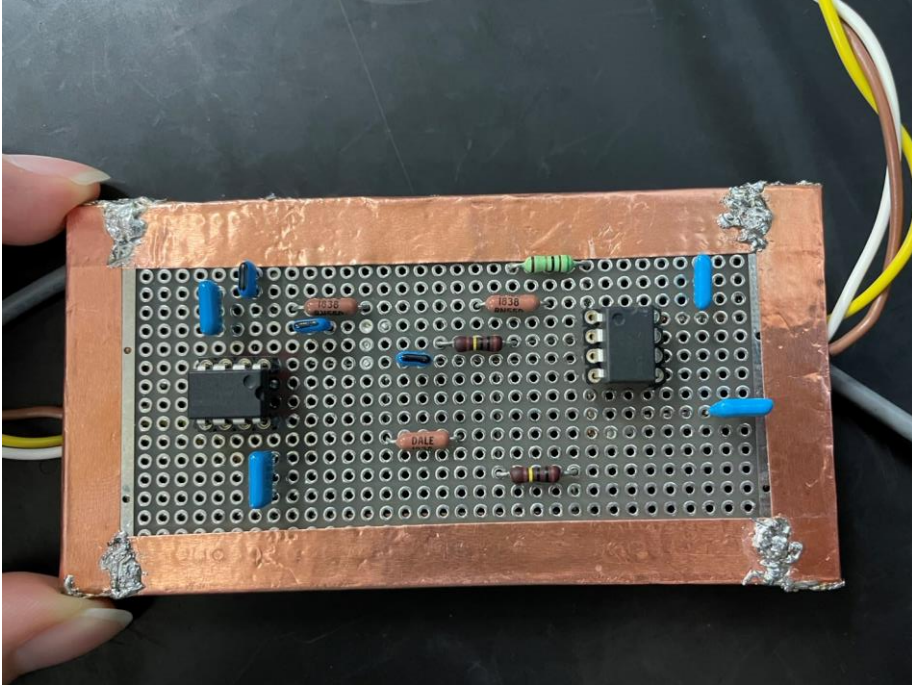
- Ch1が入力パルス、Ch2が出力パルス。予想通りの波形が確認できた
- 時定数 $\tau = 1pF \times 5M\Omega = 5\mu s$ 図より時定数は約 $7\mu s$

プリアンプ製作 回路図

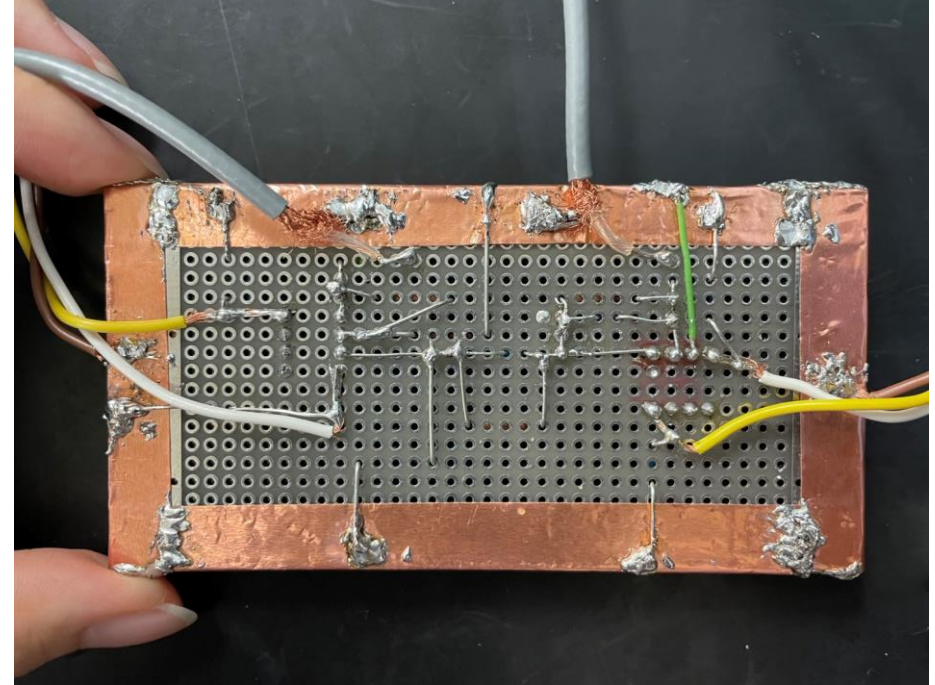


- チャージアンプだけでは出力インピーダンスが高いため、それを下げるためにフォロワー回路を製作
- ポールゼロキャンセル部分での信号減衰を回復するために非反転増幅回路が入っている

プリアンプ製作

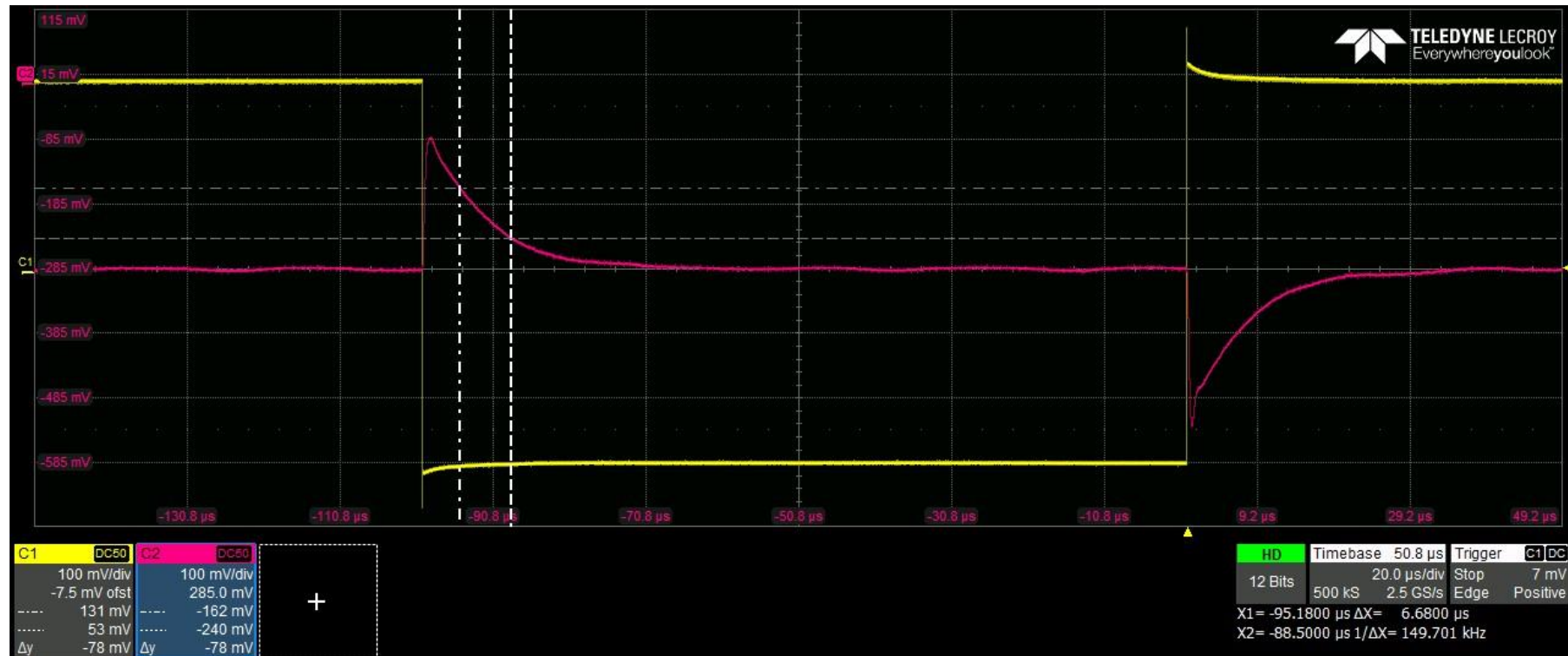


プリアンプ基盤表



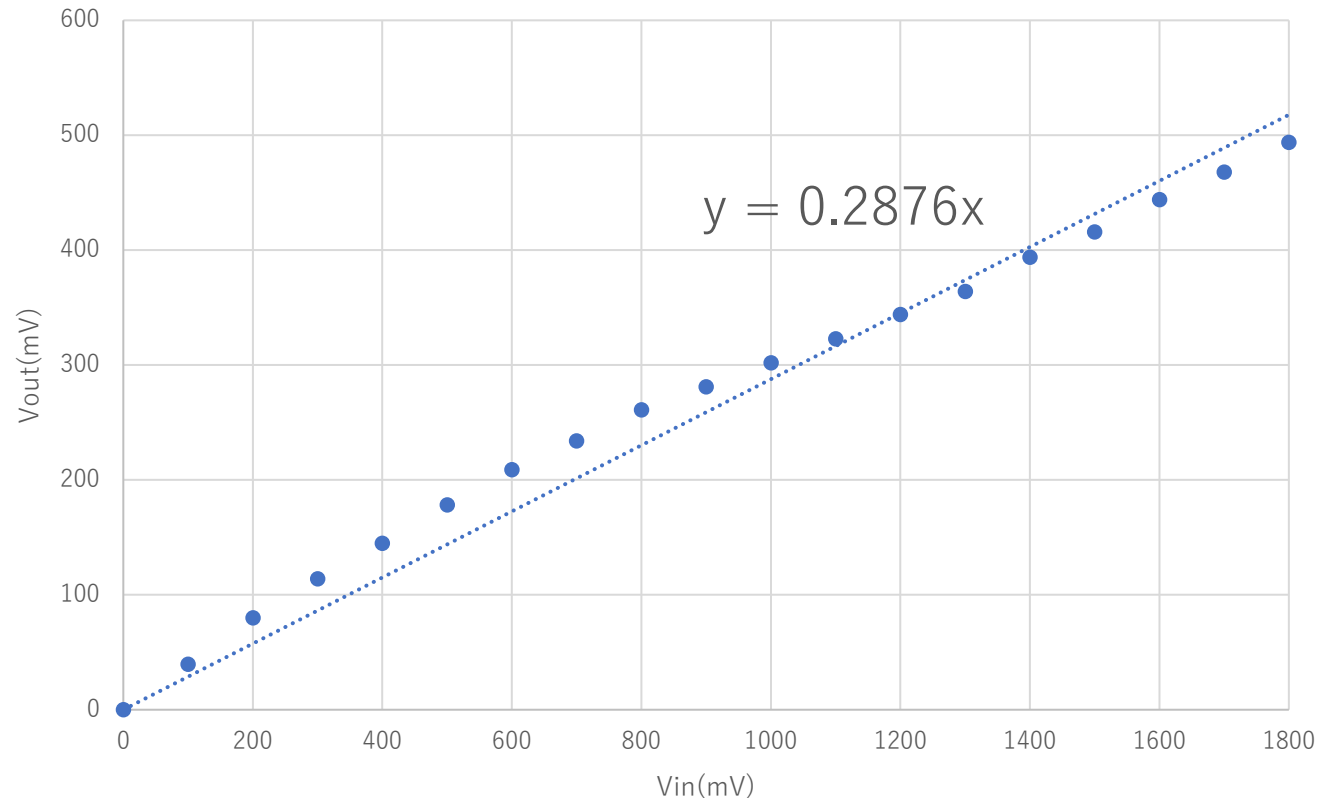
プリアンプ基盤裏

フォロワー回路追加後の動作確認結果



- 幅200μs、電圧600mVのパルスを入力(Ch1)、出力パルスはCh2
- 時定数 $\tau = 1pF \times 5M\Omega = 5\mu s$ 図より時定数は約6.7μsとなった

フォロワー回路追加後の動作確認結果



- 入力パルスの電圧を変えて測定した結果である
- 切片を0に固定
- 傾きから増倍率は0.29V/pC程度
- テストした1.8pCまでの範囲では入力電荷と出力波高が正比例していることを確認した
- 最大約39%ズレている

テスト入力に与える矩形波の電圧(Vin)に対する出力波高(Vout)

オシロスコープとPC環境

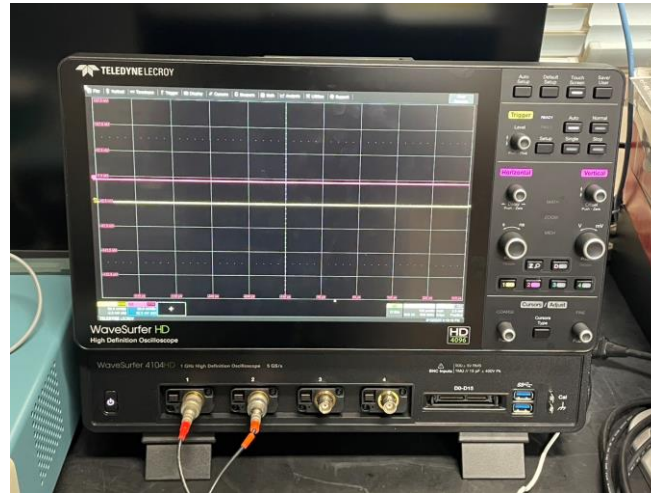


Tektronix DPO3034

従来使用

Vxi11経由でSCPIコマンドを送って応答を受け取るC++プログラムでリモート制御を行っていた

2025/3/3



Teledyne Lecroy
WaveSurfer4104HD

今回使用

リモート制御を行うプログラムの準備が必要

卒業研究発表会

	DPO3034	WaveSurfer4104HD
アナログ帯域幅	300MHz	1GHz
立ち上がり時間	1.17ns(5mV/div)	450ps(10-90%)
分解能	8bit	12bit
サンプルレート	2.5GS/s	5GS/s
レコード長	5Mpts/ch	12.5Mpts/ch
波形更新レート	最大 50,000波形/s	最大 130,000波形/s

24

PC環境 構築までの流れ

Teledyne Lecroy製のオシロスコープをリモート制御して波形を取得・保存するプログラム(Python)を中村浩二さん(KEK)にいただいた

`python3 connectivitytest.py` : 接続確認

`python3 acquisition.py` : 測定

→研究室のPCで実行できず

→PC(Scientific Linux)に入っているPythonのバージョンがpython2.7.5であると判明

→Full backupして内蔵のHDを初期化、最新版(Rocky Linux9)インストール

→backupしたデータを戻す

→いただいたプログラムを基にプログラム作成

→Pythonの環境を整え、作成したプログラムを実行

接続確認 query.py

```
import numpy as np
import sys
import optparse
import argparse
import signal
import os
import time
import shutil
import datetime
from shutil import copy
import pyvisa
import glob

"""#####SEARCH/CONNECT#####"""

initial = time.time()
rm = pyvisa.ResourceManager()
lecroy = rm.open_resource('TCPIP::192.168.11.33::INSTR')
lecroy.timeout = 3000000
lecroy.encoding = 'latin_1'
lecroy.clear()

print("IDN? :", lecroy.query("*IDN?"))
print("ALST? :", lecroy.query("ALST?"))
```

作成したプログラム(query.py)

2025/3/3

```
[mokamot@localhost lecroy]$ python3 query.py
IDN? : LECROY,WS4104HD,LCRY4903C19841,10.0.0
```

```
ALST? : WARNING : CURRENT REMOTE CONTROL INTERFACE IS TCP/IP
```

実行時の標準出力

- プログラムを動かすことは出来た
- IDN?により、オシロスコープの識別情報が返答されている
- ALST?により、現在のリモート制御インターフェースがTCP/IPでありいくつかのコマンドが制限されている可能性があるという警告されている

接続確認 acquisition4.py

- オシロスコープをリモート制御し、波形を測定するプログラム
 - スケール等の設定はオプションでできるようにになっている
例) VOLT_DIV 50mV/div
 - 測定した波形はオシロスコープ内部のストレージ上のファイルに保存される
- このプログラムを使用して宇宙線を測定する

```
[mokamot@localhost ~]$ python3 acquisition4.py --trigCh C1 --trig 0.1 --trigSlope POSitive
IDN? : LECROY,WS4104HD,LCRY4903C19841,10.0.0

ALST? : STB,000000,ESR,000000,INR,008193,DDR,000000,CMR,000000,EXR,000000,URR,000000

Preparing 4-channel scope.

Vertical setup.
Channel 1: 200 mV/div, 400 mV offset.
Channel1VOLT_DIV:200E-3

Channel 2: 80 mV/div, 160 mV offset.
Channel2VOLT_DIV:80E-3

Channel 3: 80 mV/div, 160 mV offset.
Channel3VOLT_DIV:80E-3

Channel 4: 80 mV/div, 160 mV offset.
Channel4VOLT_DIV:80E-3

Timebase: 20 ns/div.
Warning: time base must fit predefined set of possible values.
Make sure sampling rate is set to 10 GS/s manually.
Setting horizontal offset 50 200 ns

Triggering on C1 with 0.100V threshold, POSitive polarity.

Taking 65535 events in sequence mode.

----- Starting acquisition at 20:55:21. -----

----- Acquisition complete. -----
Acquisition duration: 6.8690 s
Trigger rate: 9540.7 Hz

----- Beginning save waveforms. -----
Waveform storage complete.
Storing waveforms took 0.8421 s

Finished run -1.
Full script duration: 8 s
```

実行時の標準出力

目次

1. はじめに
2. 測定準備
3. 測定
4. まとめ

宇宙線測定 回路図

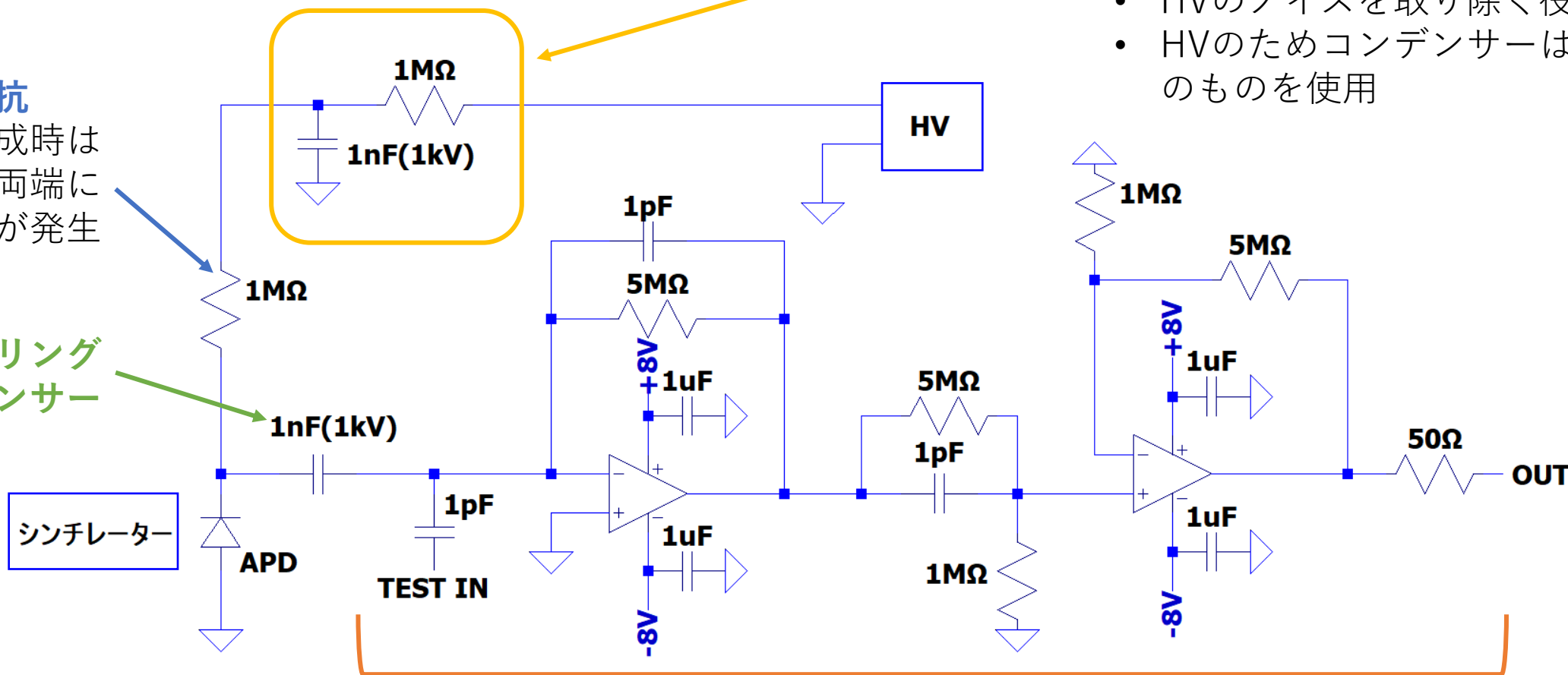
ローパスフィルター

- 高周波数を遮断して、低い周波数を通すフィルター
- HVのノイズを取り除く役割
- HVのためコンデンサーは高耐圧のものを使用

保護抵抗

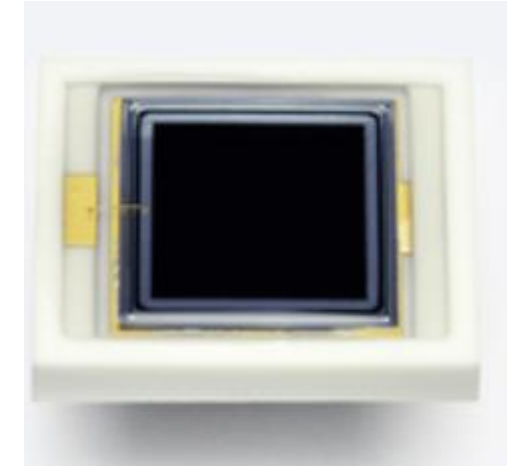
信号形成時は
この両端に
電位差が発生

カップリング コンデンサー



Amp回路

宇宙線測定 回路



引用元：

<https://www.hamamatsu.com/jp/ja/product/optical-sensors/apd/si-apd/S8664-55.html>

[Fast-LGSO結晶]

サイズ：40.0mm × 40.0mm × 12.0mm

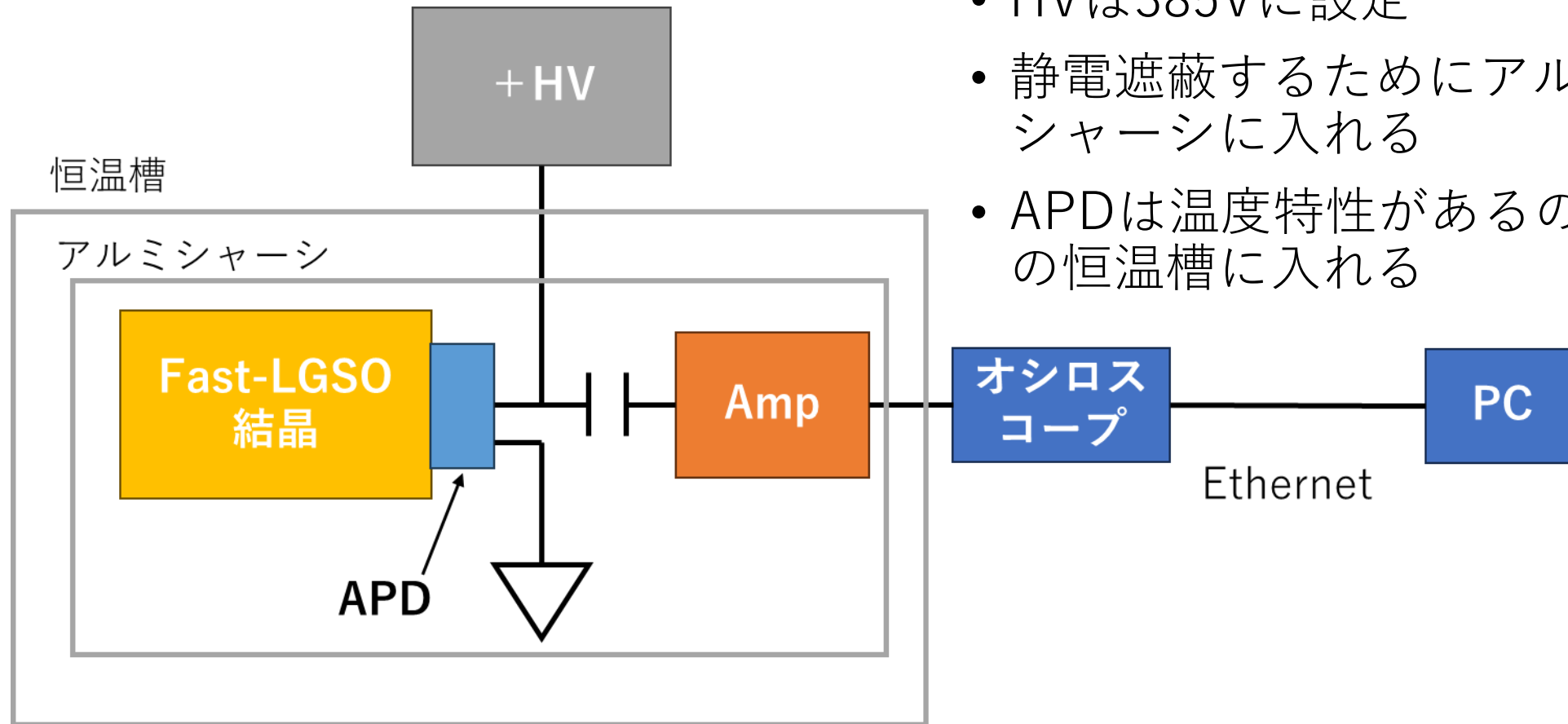
反射材の白色GoreTexシートで包んでいる

光検出器の受光面の大きさに合うように窓を開けている

[APD]

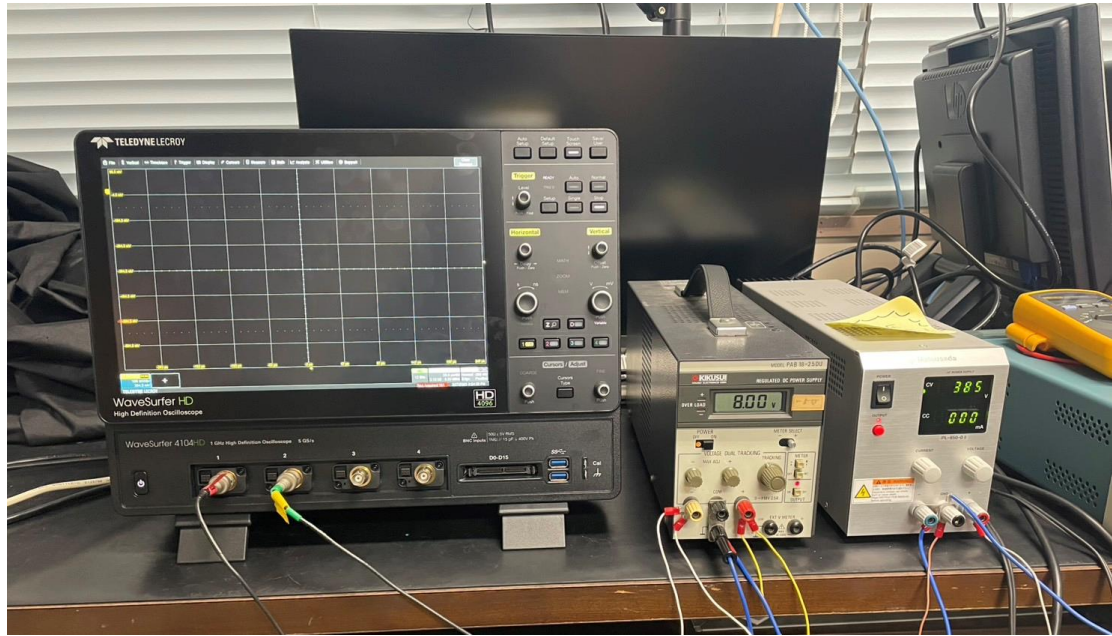
サイズ：5mm × 5mm 種類：S8664-55

セットアップ概略図



- HVは385Vに設定
- 静電遮蔽するためにアルミシャーシに入れる
- APDは温度特性があるので25°Cの恒温槽に入れる

使用した機器

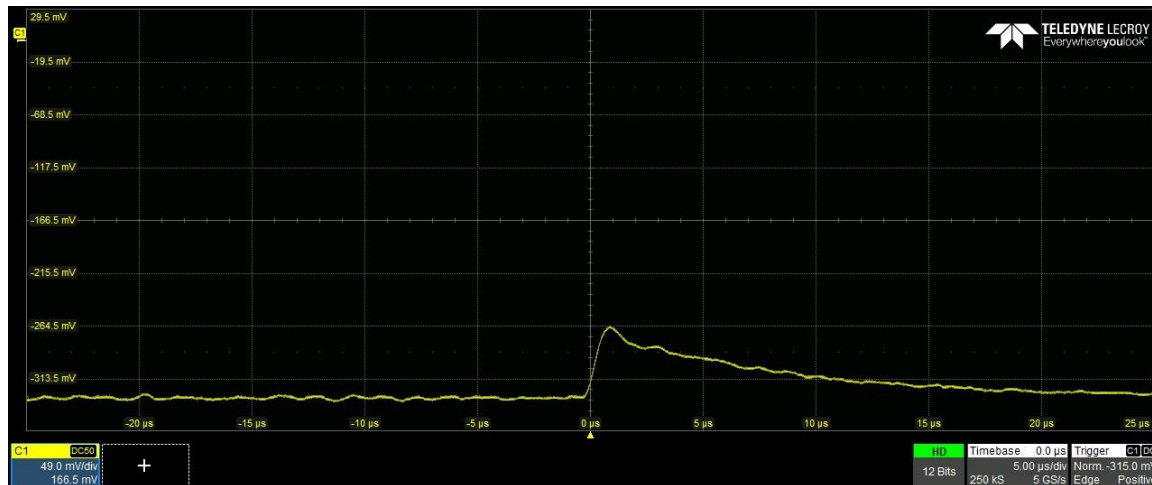
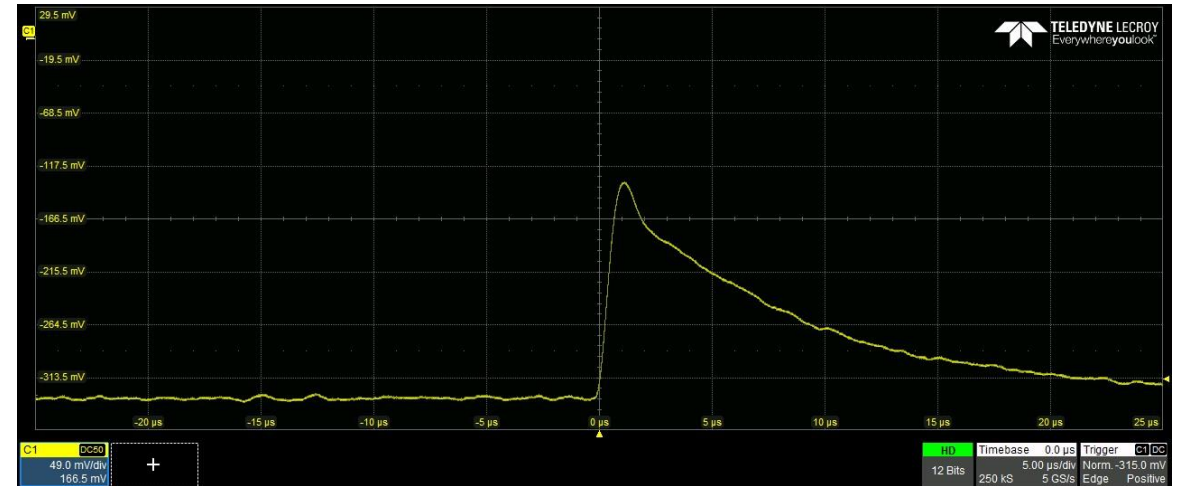
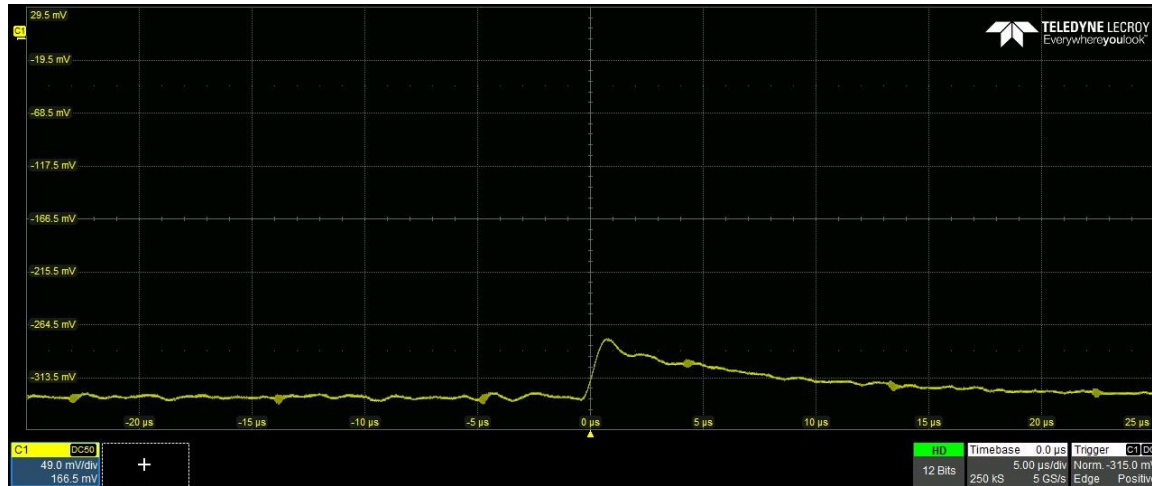


左からオシロスコープ、Amp用電源、HV用電源
($\pm 8V$) ($+385V$)



恒温槽($25^{\circ}C$)

宇宙線測定



- 数秒に一回信号を観測
- 宇宙線は 1cm^2 当たり毎分一回程度の頻度で入射

リモート制御・データ取得

- オシロスコープをリモート制御し、波形を測定するためのプログラム (acquisition4.py) を実行
主な設定：49mV/div、offset196mV、5 μ s/div、trigCh1、trig-280mV、trigSlopePositive、Events1000、sequence mode
- オシロスコープの制御は成功、4000秒程度で測定を終えた記録が標準出力されていた
- 取得したデータはtrcファイルとしてオシロスコープ内に保存されていた
- 解析するためにはtxtファイルに変換する必要があるため専用ツールを使用してtxtファイルに変換した

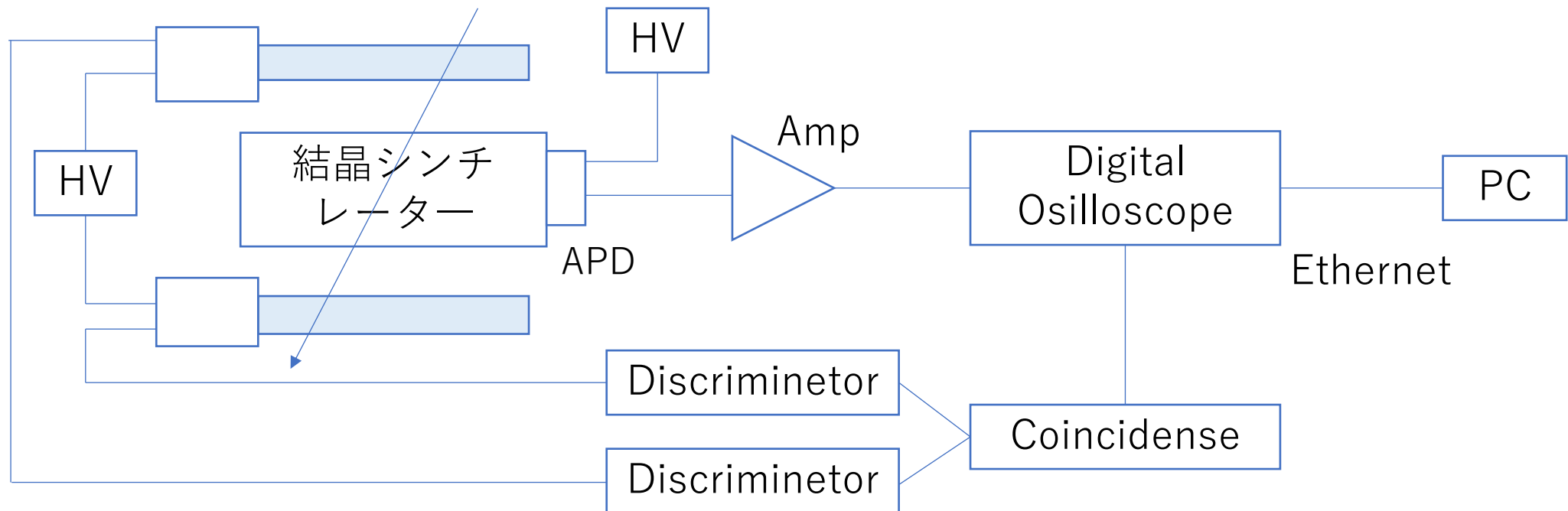
→現在、解析方法を模索中

目次

1. はじめに
2. 測定準備
3. 測定
4. 課題・まとめ

今後の課題

- 取得したデータ(txtファイル)の解析・特性評価を行う
- 宇宙線の天頂角分布を考慮し、以下のセットアップでの宇宙線測定・解析を行う



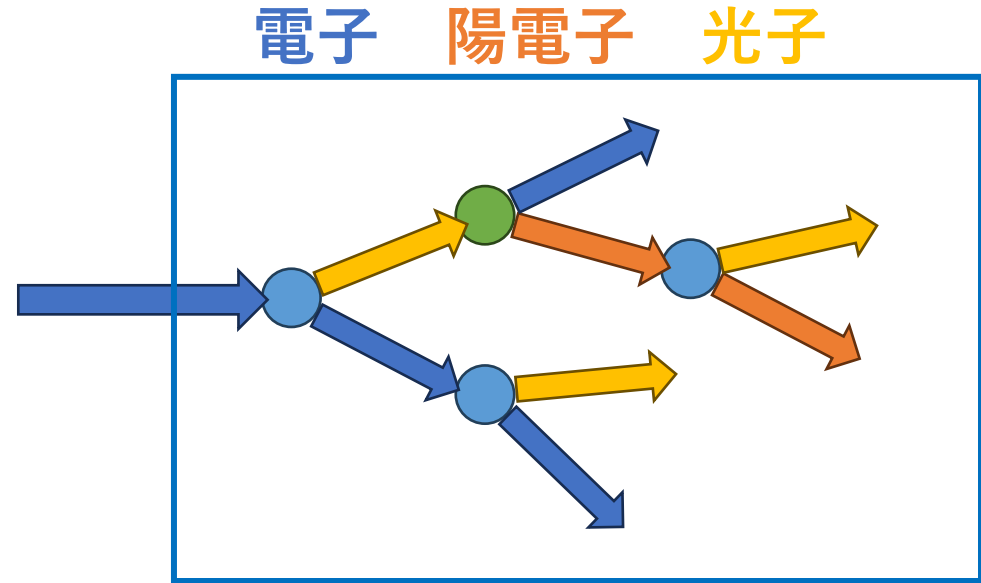
まとめ

- プリシャワー検出器のアクティブ吸収層プロトタイプを製作した
Fast-LGSO結晶シンチレーター + APD(S8664-55型)
- プリアンプを製作した。増幅率は0.29V/pC、時定数は6.7 μ sであった
- Teledyne Lecroy製オシロスコープ(WaveSurfer4104HD)で波形の測定、データ取得を行う環境を整えた
- これらをつないだセットアップで宇宙線の信号が見えた
- 取得したデータはtrcファイルとしてオシロスコープ内に保存されていた
- データの解析を行うためにtrcファイルをtxtファイルに変換した
- txtファイルを解析するためのプログラム作成が必要と考えられる

Back up

電磁シャワー

- 高エネルギーの電子や光子が物質に入射し、対生成や制動放射が連鎖的に起こる反応
- 電子は制動放射によるエネルギー損失が大きく、光子は電子対生成によるエネルギー損失が大きい
- 電磁カロリメーターでは発生した光子を電気信号に変換してエネルギー損失を求めている



[制動放射]

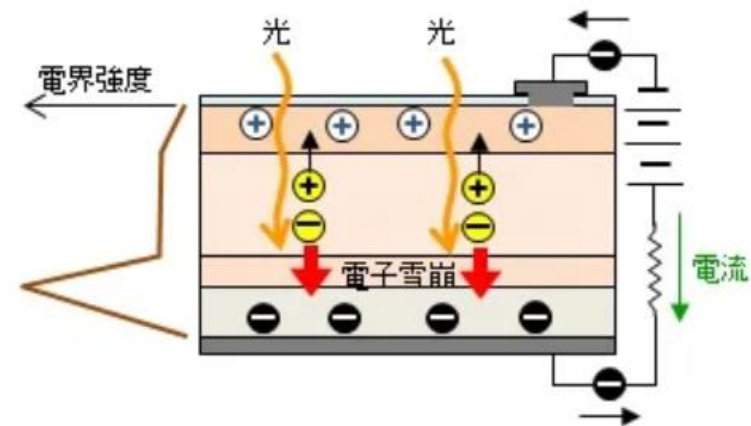
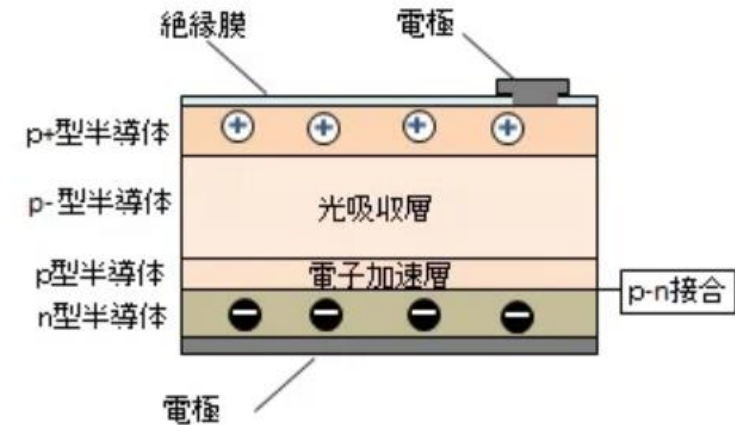
荷電粒子がクーロン場において加速度運動する際に光子を放出してエネルギーを失う現象

[電子対生成]

1.02MeV以上のエネルギーを有する光子が標的の原子核の近傍でクーロン場受け、光子が消滅して電子と陽電子の対が生成される現象

APDの原理

- p+層はキャリア濃度が高く、p-層は低い
- p-層は光を吸収して電子やホールを生成
- p層は生成した電子を高電界で加速して電子雪崩を起こさせる
- APDに高電圧をかけた際、各層にかかる電界は右下の図に示す。p層を薄くしているため空乏層に大きな電界勾配ができる



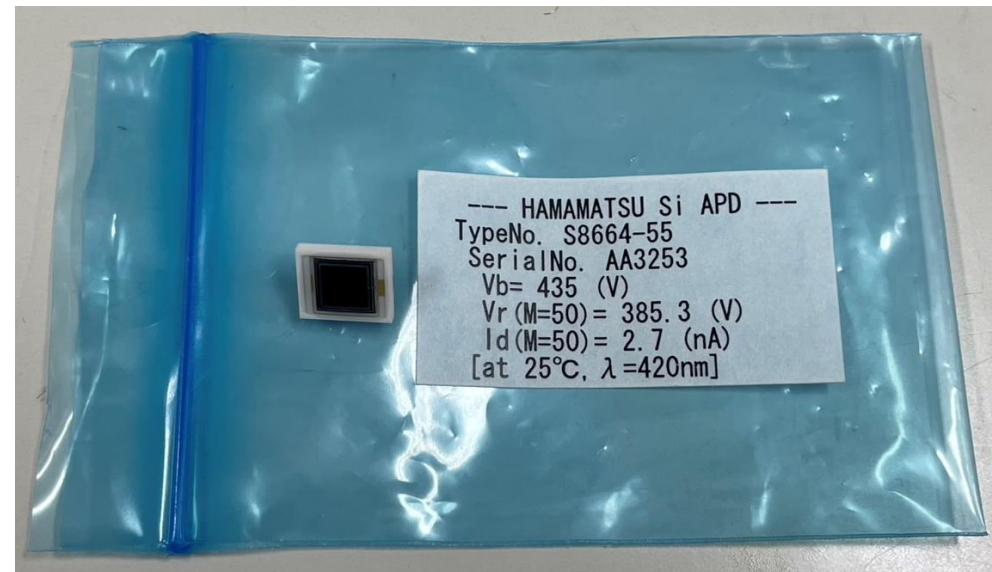
引用元：<https://www.fiberlabs.co.jp/tech-explan/about-pd/>

APD データシート

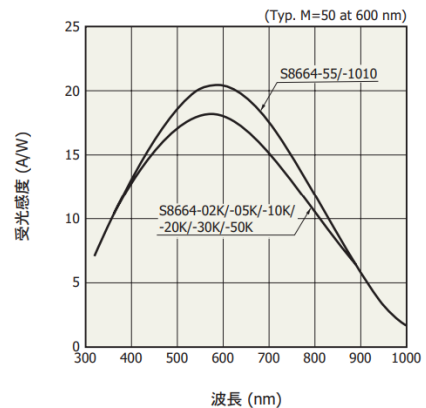
電気的および光学的特性 (指定のない場合はTyp. Ta=25 °C)

型名	感度 波長 範囲 λ (nm)	最大 感度 波長*4 λ_p (nm)	受光感度 S		量子効率 QE		降伏電圧 V _{BR}		暗電流*4 I _D		遮断 周波数*4 f _c (MHz)	端子間 容量*4 C _t (pF)	過剰 雑音 指数*4 $\lambda=420$ nm	増倍率 M $\lambda=420$ nm
			M=1	M=1	M=1	M=1	Typ. (V)	Max. (V)	Typ. (nA)	Max. (nA)				
			$\lambda=420$ nm (A/W)	$\lambda=420$ nm (%)	ID=100 μ A	降伏電圧の 温度 係数 (V/°C)								
S8664-02K	320 ~ 1000	600	0.24	70	400	500	0.78	0.1	1	700	0.8	0.2	50	
S8664-05K								0.2	1.5	680	1.6			
S8664-10K								0.3	3	530	4			
S8664-20K								0.6	6	280	11			
S8664-30K								1	15	140	22			
S8664-50K								3	35	60	55			
S8664-55								5	50	40	80			
S8664-1010								10	100	11	270			

*4: 特性表に記載された増倍率での値

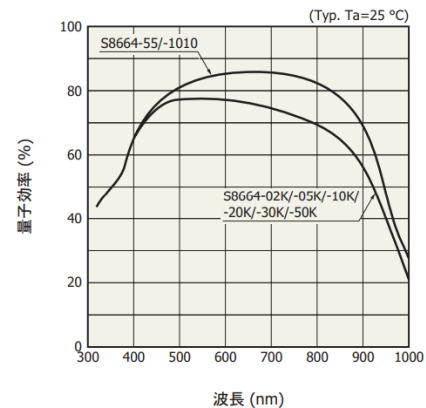


分光感度特性



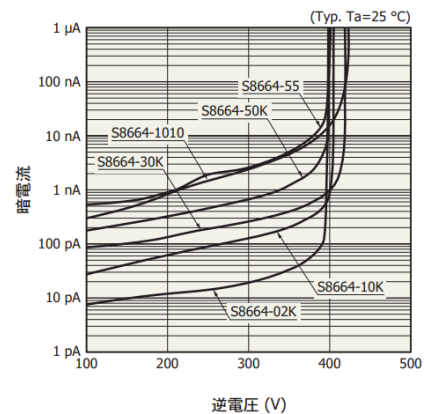
KAPD00733C

量子効率-波長



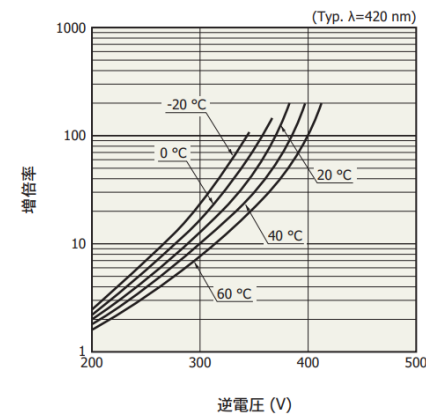
KAPD00733C

暗電流-逆電圧



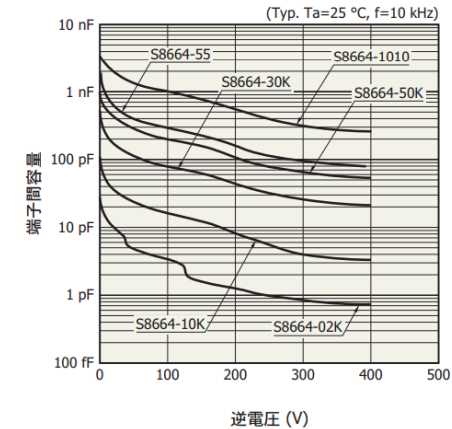
KAPD00733B

増倍率-逆電圧



KAPD00733A

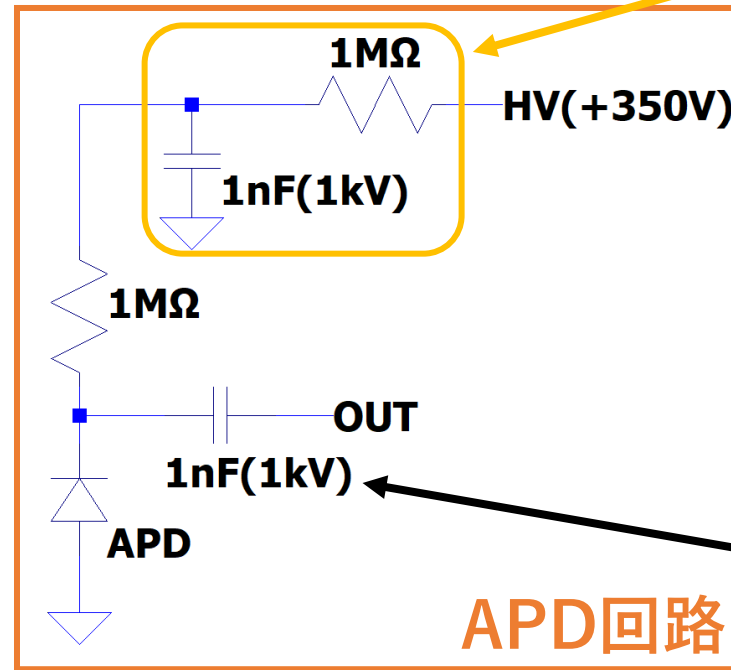
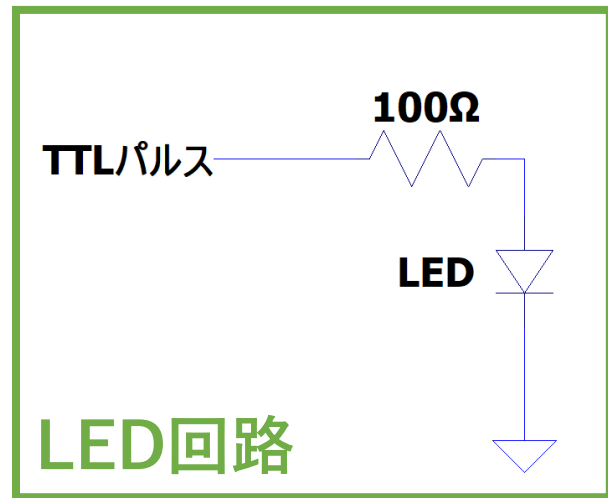
端子間容量-逆電圧



KAPD00733B

引用元：https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/99_SALES_LIBRARY/ssd/s8664_series_kapd1012j.pdf

APD動作確認 回路図



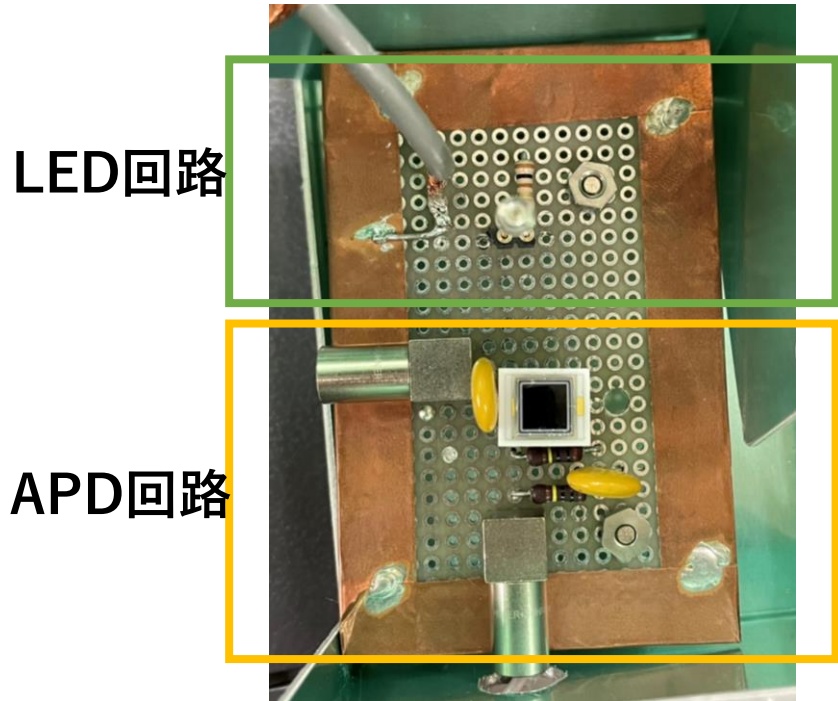
ローパスフィルター

- 高周波数を遮断して、低い周波数を通すフィルター
- HVのノイズを取り除く役割
- HVのためコンデンサーは高耐圧のものを使用

バイパスコンデンサ

- 使用したLEDは日亜化学工業株式会社製のNSPB320BS
- LEDを光らせるためにTTLパルスを入力

APD動作確認 セットアップ



Clock Generator

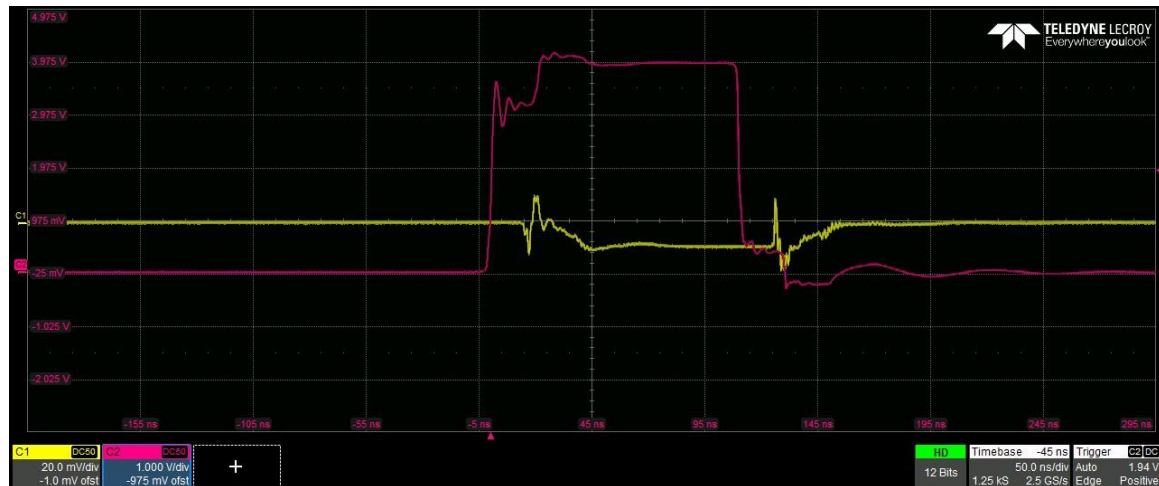
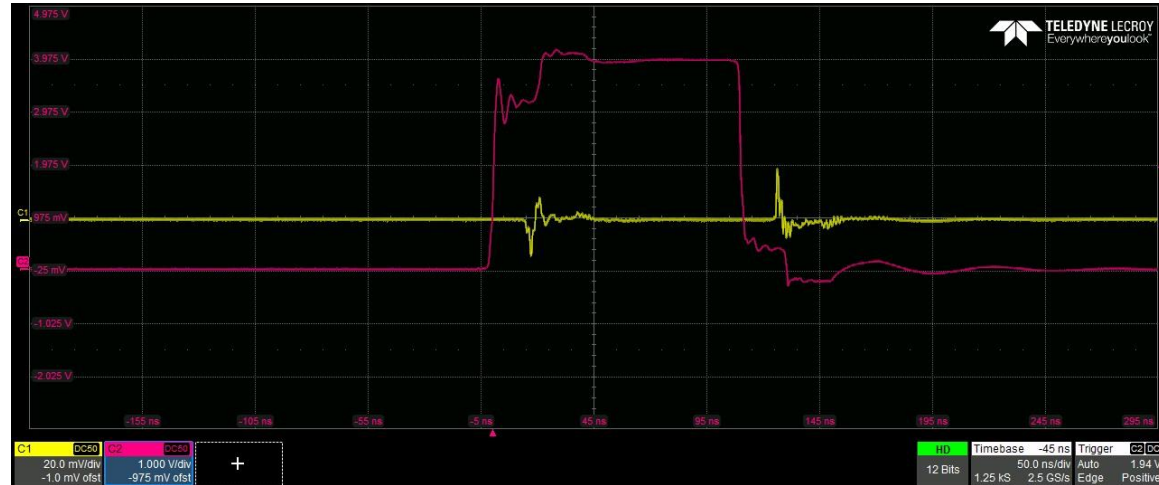


HV



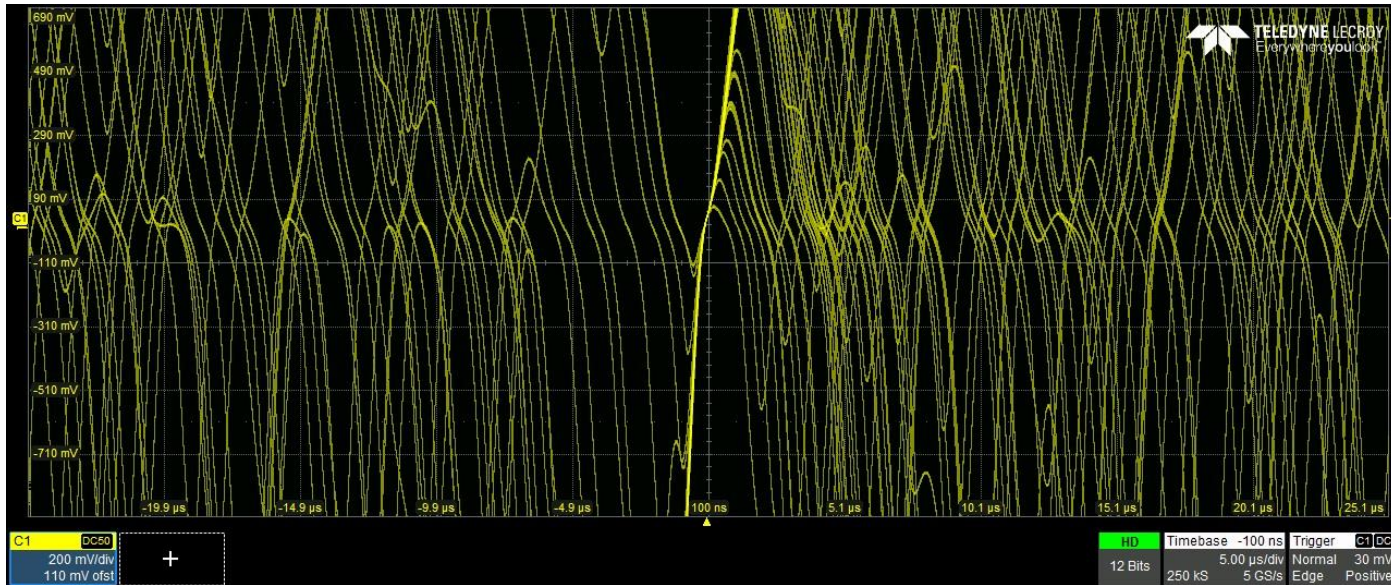
- 回路基盤をアルミシャーシで静電遮蔽し、それを暗幕で覆った
- Clock GeneratorからTTLパルスを入力
- HVは+350Vに設定

APD動作確認 結果



- Ch1が出力パルス、Ch2が入力パルス(TTLパルス)
- 上がHVオフ、下がHVオンにした時の結果
- HVのオンオフで出力パルスに変化あり
→APDが動作していることを確認

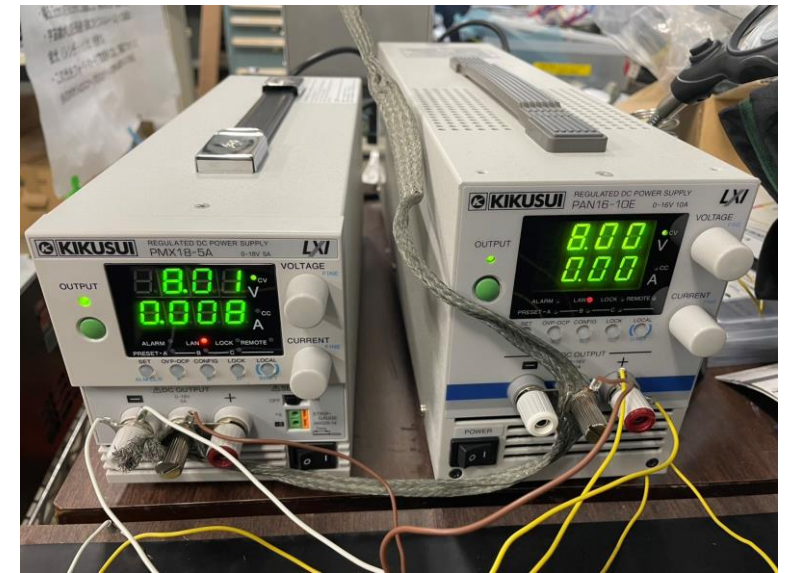
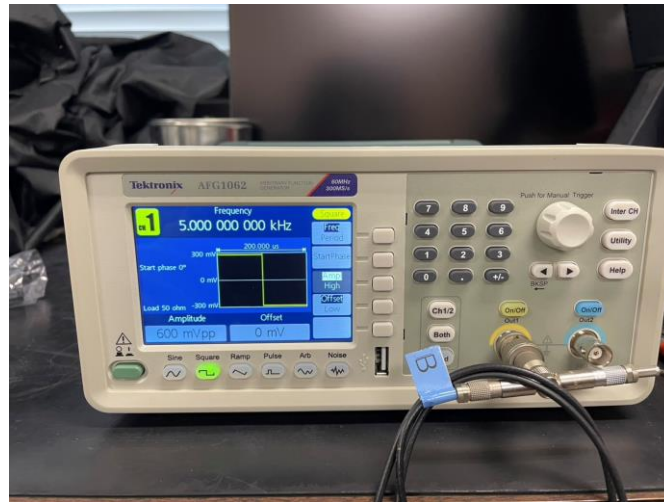
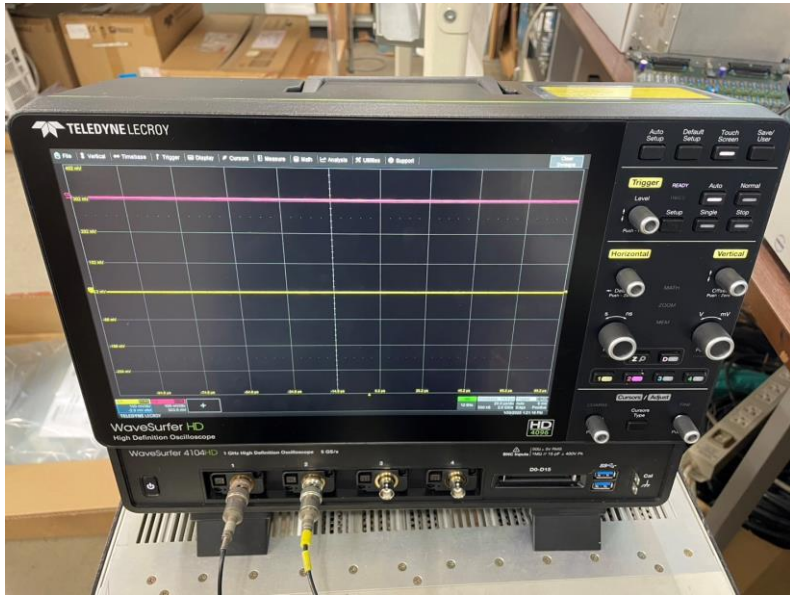
APD 降伏(Break Down)



APDには推奨電圧があり、一定の電圧(降伏電圧)付近を加えると降伏が起きる

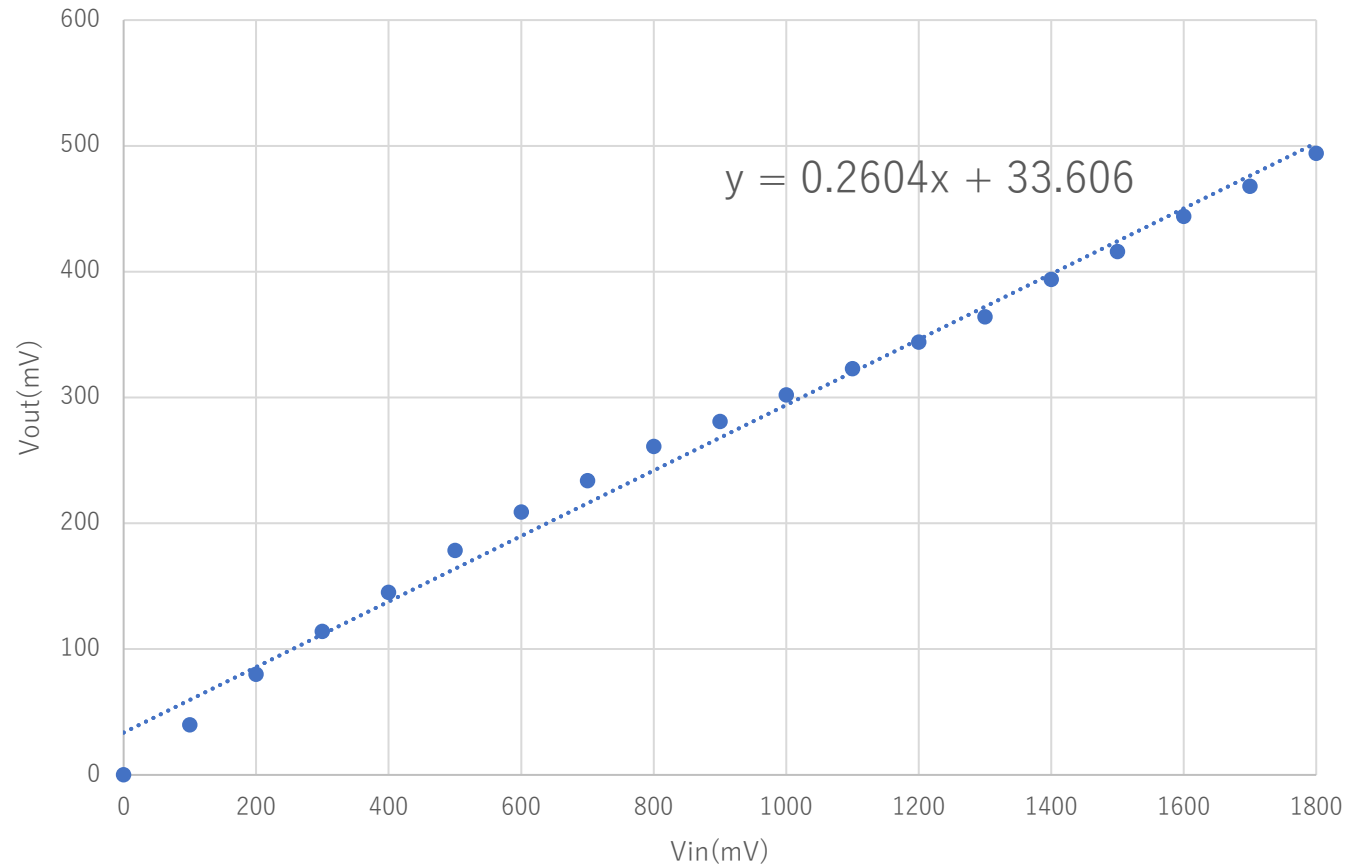
- プロポーショナルモード：局所的な電子雪崩が起き、最初に発生したキャリア電荷の数と出力される信号電荷の大きさが比例
- ガイガーモード：電子雪崩が素子全面に広がり、増幅率は大きいが最初に発生したキャリア電荷の数と関係なく同じ大きさの信号パルスが出る

使用した機器 プリアンプ動作確認



左からオシロスコープ(Teledyne Lecroy製)、Function Generator、電源装置

フォロワー回路追加後の動作確認結果



- 入力パルスの電圧を変えて測定した結果である
- 切片を固定しない
- 傾きから増倍率は 0.26V/pC 程度
- テストした 1.8pC までの範囲では入力電荷と出力波高が正比例していることを確認した

テスト入力に与える矩形波の電圧(V_{in})に対する出力波高(V_{out})

リモート制御・データ取得

```
[mokamot@localhost lecroy]$ python3 acquisition4.py --trigCh C1 --trig -0.28 --trigSlope POSitive --numEvents 1000
IDN? : LECROY,WS4104HD,LCRY4903C19841,10.0.0

ALST? : STB,000000,ESR,000000,INR,008193,DDR,000000,CMR,000000,EXR,000000,URR,000000

Preparing 4-channel scope.

Vertical setup.
  Channel 1: 49 mV/div, 196 mV offset.
  Channel 2: 80 mV/div, 160 mV offset.
  Channel 3: 80 mV/div, 160 mV offset.
  Channel 4: 80 mV/div, 160 mV offset.

Timebase: 5000 ns/div.
Warning: time base must fit predefined set of possible values.
  Make sure sampling rate is set to 5 GS/s manually.
Setting horizontal offset 50 0 ns

Triggering on C1 with -0.280V threshold, POSitive polarity.

Taking 1000 events in sequence mode.

----- Starting acquisition at 21:47:50. -----

----- Acquisition complete. -----
Acquisition duration: 4049.9469 s
Trigger rate: 0.2 Hz

----- Beginning save waveforms. -----
Waveform storage complete.
Storing waveforms took 1.3379 s

Finished run -1.
Full script duration: 4051 s
```

標準出力

```
LECROYMAUI,0,Waveform
Segments,1000,SegmentSize,6252
Segment,TrigTime,TimeSinceSegment1
#1,13-Mar-2025 13:57:49,0
#2,13-Mar-2025 13:57:50,0.830586
#3,13-Mar-2025 13:57:56,6.59131
#4,13-Mar-2025 13:58:08,18.7441
#5,13-Mar-2025 13:58:09,19.6028
```

txt変換後 時間

```
Measurements,Amplitude,Max,Mean,Min,Area,Base,Top,Rms,
Unit,V,V,V,V,Wb,V,V,V,
value,19.03e-3,-265.5e-3,-290.17e-3,-298.1e-3,-14.50829140e-6,-294.07e-3,-275.05e-3,290.24e-3,
.....
Measurements,Amplitude,Max,Mean,Min,Area,Base,Top,Rms,
Unit,V,V,V,V,Wb,V,V,V,
value,26.9e-3,-272.2e-3,-291.25e-3,-299.1e-3,-14.56246559e-6,-299.1e-3,-272.2e-3,291.30e-3,
.....
Measurements,Amplitude,Max,Mean,Min,Area,Base,Top,Rms,
Unit,V,V,V,V,Wb,V,V,V,
value,19.9e-3,-278.5e-3,-292.76e-3,-298.5e-3,-14.63795023e-6,-298.5e-3,-278.5e-3,292.78e-3,
.....
Measurements,Amplitude,Max,Mean,Min,Area,Base,Top,Rms,
Unit,V,V,V,V,Wb,V,V,V,
value,33.3e-3,-264.6e-3,-290.53e-3,-297.9e-3,-14.52668163e-6,-297.9e-3,-264.6e-3,290.62e-3,
.....
Measurements,Amplitude,Max,Mean,Min,Area,Base,Top,Rms,
Unit,V,V,V,V,Wb,V,V,V,
value,37.4e-3,-260.7e-3,-289.31e-3,-298.0e-3,-14.46557658e-6,-298.0e-3,-260.7e-3,289.42e-3,
```

txt変換後 振幅等

データ取得 課題

イベント数10,000
実行時間約4,000秒

```
[mokamoto@localhost jecroy]$ python3 acquisition4.py --trigCh C1 --trig -0.28 --trigSlope POSitive --numEvents 10000
IDN? : LEGR9-WS1104UP-RTK4903C19841, 0.0.0
ALST? : STB,000000,ESR,000000,INR,000000,DDR,000000,CMR,000000,EXR,000000,URR,000000

Preparing 4-channel scope.

Vertical setup.
Channel 1: 49 mV/div, 196 mV offset.
Channel 2: 80 mV/div, 160 mV offset.
Channel 3: 80 mV/div, 160 mV offset.
Channel 4: 80 mV/div, 160 mV offset.

Timebase: 5000 ns/div.
Warning: time base must fit predefined set of possible values.
Make sure sampling rate is set to 10 GS/s manually.
Setting horizontal offset 50 0 ns

Triggering on C1 with -0.280V threshold, POSitive polarity.

Taking 10000 events in sequence mode

----- Starting acquisition at 03:19:24. -----

----- Acquisition complete. -----
Acquisition duration: 4167.7287 s
Trigger rate: 2.4 Hz

----- Beginning save waveforms. -----
Waveform storage complete.
Storing waveforms took 2.0113 s

Finished run -1.
Full script duration: 4170 s
```

おそらく1,000イベントで切られる
ようになっている

イベント数100,000
実行時間約4,000秒

```
[mokamoto@localhost jecroy]$ python3 acquisition4.py --trigCh C1 --trig -0.28 --trigSlope POSitive --numEvents 100000
IDN? : LEGR9-WS1104UP-RTK4903C19841, 0.0.0
ALST? : STB,000000,ESR,000000,INR,008190,DDR,000000,CMR,000000,EXR,000000,URR,000000

Preparing 4-channel scope.

Vertical setup.
Channel 1: 49 mV/div, 196 mV offset.
Channel 2: 80 mV/div, 160 mV offset.
Channel 3: 80 mV/div, 160 mV offset.
Channel 4: 80 mV/div, 160 mV offset.

Timebase: 5000 ns/div.
Warning: time base must fit predefined set of possible values.
Make sure sampling rate is set to 10 GS/s manually.
Setting horizontal offset 50 0 ns

Triggering on C1 with -0.280V threshold, POSitive polarity.

Taking 100000 events in sequence mode

----- Starting acquisition at 04:32:35. -----

----- Acquisition complete. -----
Acquisition duration: 4172.4296 s
Trigger rate: 24.0 Hz

----- Beginning save waveforms. -----
Waveform storage complete.
Storing waveforms took 0.8940 s

Finished run -1.
Full script duration: 4173 s
```