

第2回 次世代光センサーに関するワークショップ

2006/12/7 ~ 8, 浜松

Multi-Pixel Photon Counter (MPPC)の開発

浜松ホトニクス株式会社

固体事業部 里健一

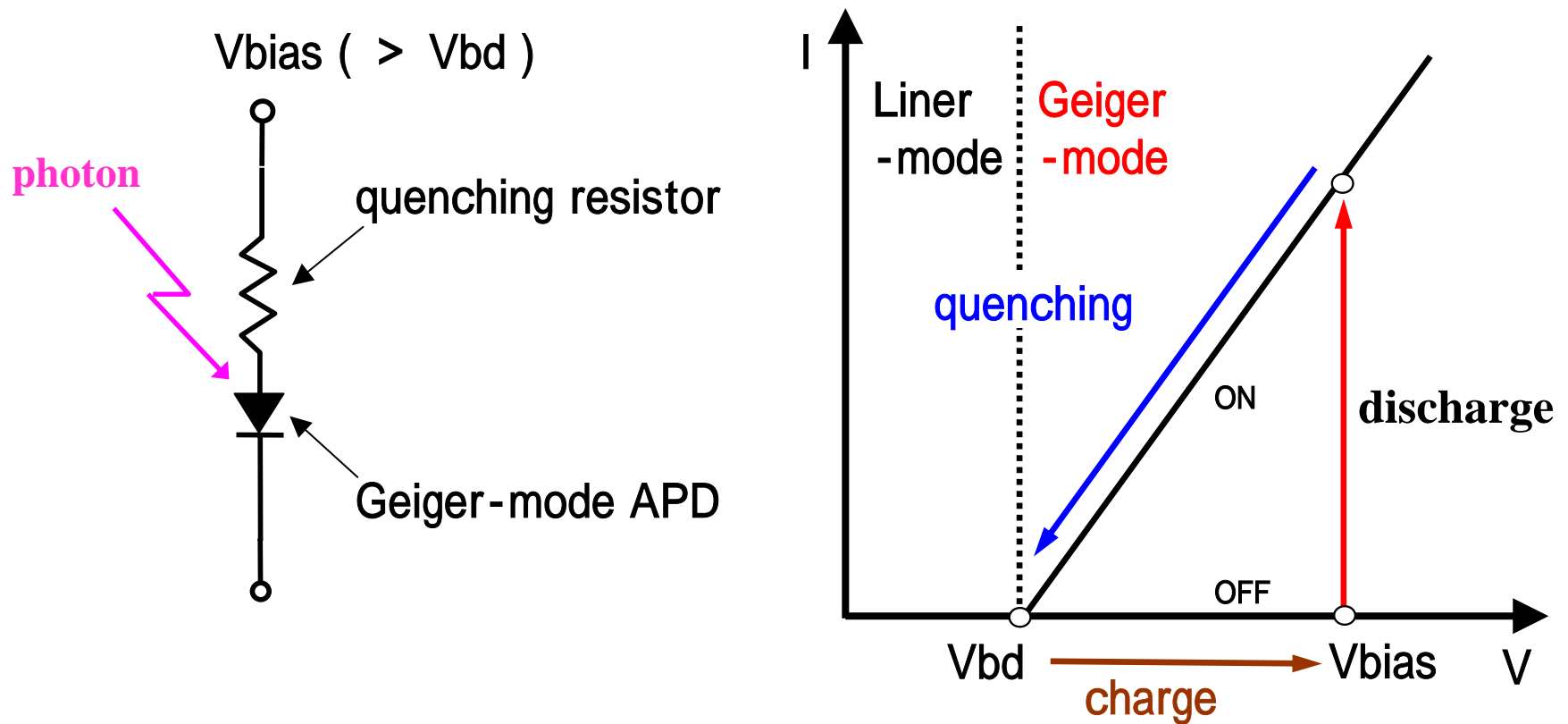
Multi-Pixel Photon Counter (MPPC)の開発

MPPCとは?

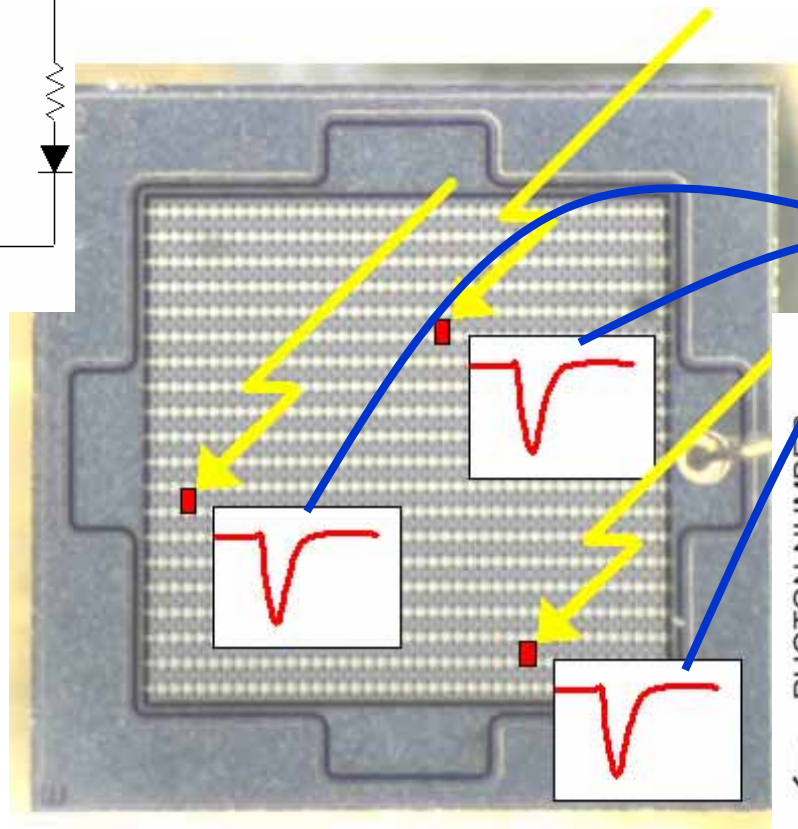
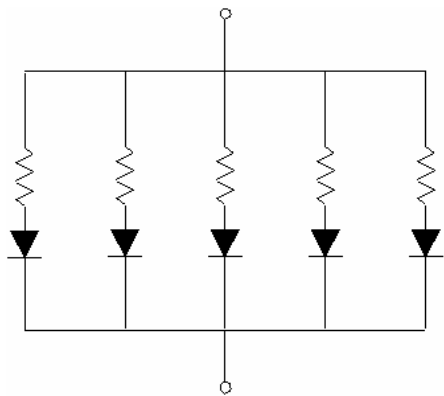
- 多数のガイガーモードAPDとクエンチング抵抗からなる固体のフォトンカウンティング素子
- 特徴
 - 室温での動作が可能
 - 低バイアス電圧で動作 (<100V)
 - 高ゲイン ($10E+5 \sim 10E+6$)
 - 磁場の影響を受けない
 - 高時間分解能



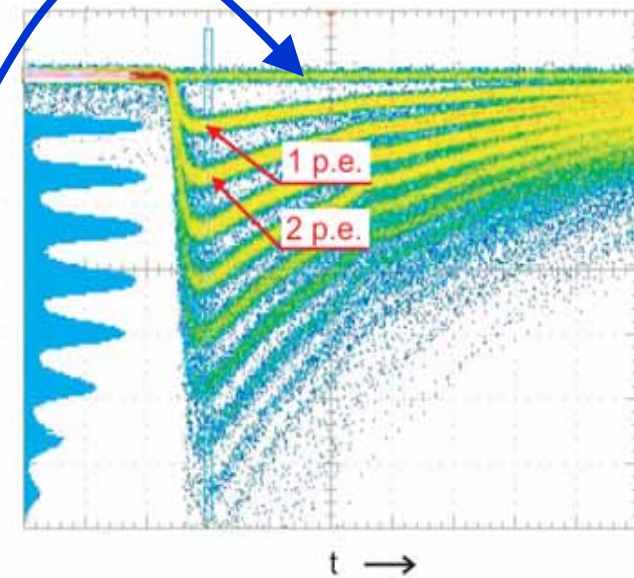
ガイガーモードAPDと クエンチング抵抗



MPPCの動作原理

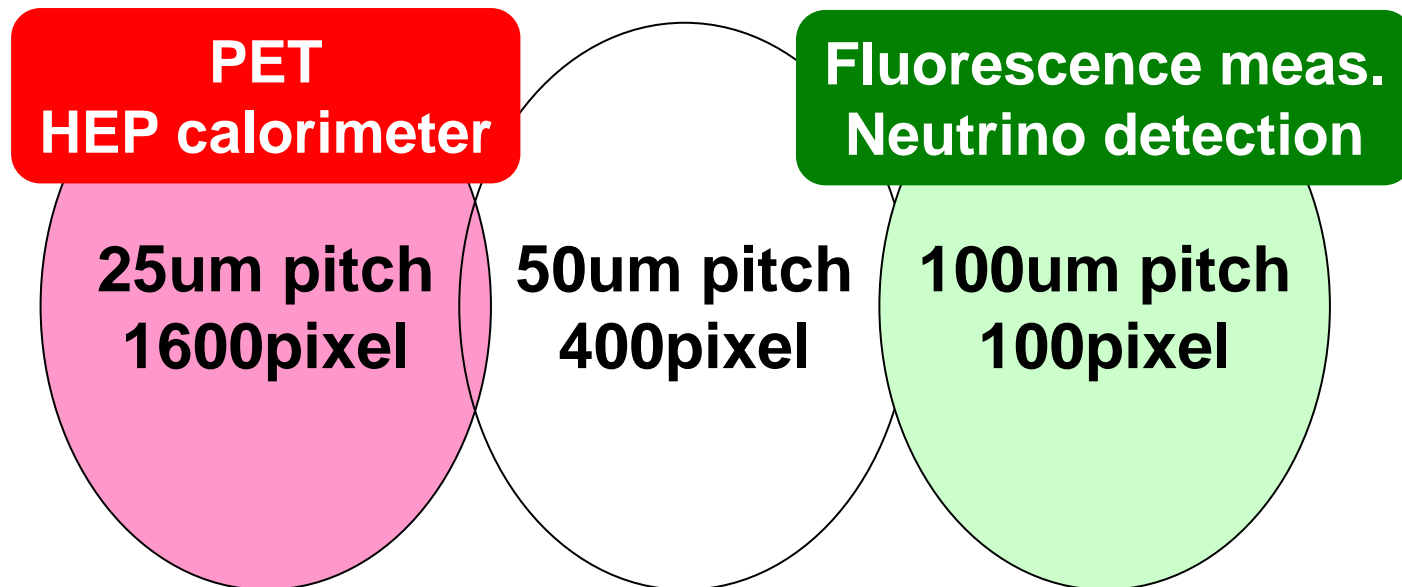


MPPCの出力は各ピクセル出力の和となる



各ピクセルは光検出のOn-Off判定のみ行う

ピクセル数と応用分野



ダイナミックレンジ wide ←————→ narrow

MPPCピクセル数の60%位までの入射フォトン数に対して出力はリニアである。それ以上のフォトン数では一つのピクセルに対し複数個の入射が起こり始めるため、リニアリティは失われる。

開口率 low (10 ~ 40%) ←————→ high (~ 90%)

News Release (10/26)

PHOTON IS OUR BUSINESS
**NEWS
RELEASE**

PETや高エネルギー物理実験、医療など幅広い分野向け
新開発、微弱光を検出する光半導体素子
「MPPC」の新製品3タイプをサンプル出荷開始

2006年10月
浜松ホトニクス株式会社
本社：静岡県浜松市砂山町325-6
代表取締役営業部長 重馬 輝夫(かほむね)

当社は、新たに開発した、フォトン（光子）を100万倍程度に増倍して微弱光を検出する光半導体素子「MPPC」の新製品「S10362-11」シリーズ3タイプを、11月1日からサンプル出荷を開始し来年1月25日から本出荷します。これにより、PET（陽電子放出断層撮影）や高エネルギー物理実験をはじめ医療、バイオ、環境分析など幅広い分野で採用が期待されます。

なお、本製品は、米国カリフォルニア州サンディエゴで開催される「核科学シンポジウム：2006 Nuclear Science Symposium」で10月31日から3日間展示します。

＊フォトン：素粒子のひとつで光の粒のこと。

<製品の概要>

本製品は、フォトン（光子）を100万倍程度の光電子に増倍し電気信号として取り出し、微弱な光の粒を数えるフォトンカウンティング用光半導体素子「MPPC」（マルチピクセル・フォトン・カウンタ）です。

「S10362-11」シリーズは、受光面積1mm角で波長400nm近辺に最大感度があります。PETや高エネルギー物理など放射線検出向けの1面素子25マイクロメートル（以下μm）角で1600面素子と50μm角400面素子、バイオや環境計測など微弱光検出向けの100μm角で100面素子の3タイプで、キャンパッケージとセラミックパッケージを用意しました。独自の設計技術で開口率を上げ、25μm角で25%、50μm角で50%、100μm角で65%と高い検出効率を実現しています。

＊開口率：1面素子の配線部などを除いた、1面素子の面積に占める光を透過させる部分の面積の割合。

◇

MPPCは、微弱光を検出する光電子増倍管に比べ、大面積が取れないことや熱電子放出によるノイズカウントがありますが、100V以下の低電圧で動作するため扱いやすく、環境に影響を受けず、さらに半導体ならではのコンパクトで量産が可能なのが特長です。

HAMAMATSU

MPPC素子受光面 (S10362-11-100)

S10362-11-025U (左) - 025C (右)

この件に関するお問い合わせ先

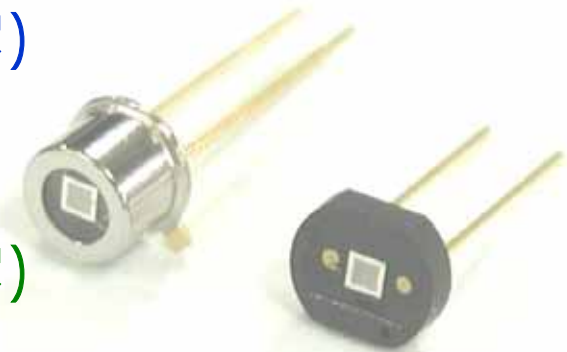
■報道関係の方 浜松ホトニクス株式会社 広報グループ 海野賢二
〒430-0567 静岡県浜松市砂山町325番地の6 日本生命浜松駅前ビル
TEL 053-434-2141 FAX 053-434-7888
担当仲仕：橋本電話090-4080-3501へお願いします
E-mail: k-uno@hq.hk.co.jp

■一般の方 浜松ホトニクス株式会社 固体営業部営業推進 大塚智也
〒430-0568 浜松市市野町126-1
TEL 053-434-3311 FAX 053-434-5184
E-mail: inutsuka@ssd.hk.co.jp

4

MPPCのラインナップ

- Active-area : 1mm
 - **1600 pixel-type (S10362-11-025U, C)**
 - 25um pixel pitch, 40 x 40 pixel
 - **400 pixel-type (S10362-11-050U, C)**
 - 50um pixel pitch, 20 x 20 pixel
 - **100 pixel-type (S10362-11-100U, C)**
 - 100um pixel pitch, 10 x 10 pixel



MPPC仕様 (1mm)

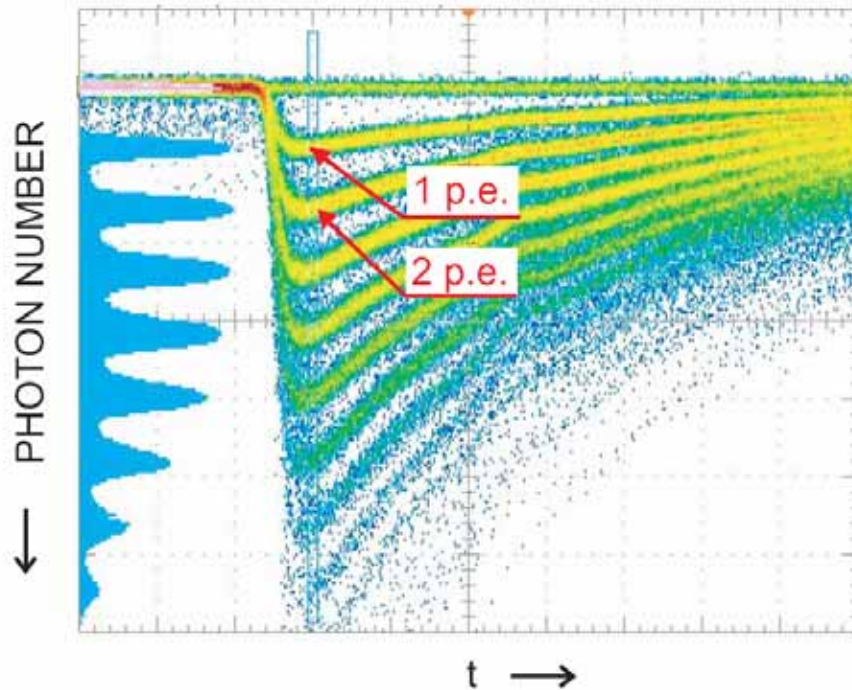
■ Electrical and optical characteristic (Ta = 25°C)

Parameter		1600	400	100	Unit
Chip size		1.5 x 1.5			mm
Effective active area		1 x 1			mm
Number of pixels		1600	400	100	-
Pixel size		25 x 25	50 x 50	100 x 100	um
Geometric efficiency		30.8	61.5	78.5	%
Sensitivity	$\lambda = \lambda_p$	400			nm
	Quantum efficiency	70 min.			%
	PDE	25	50	65	%
Operating voltage		77 ± 10	70 ± 10	70 ± 10	V
Gain		2.75E+05	7.50E+05	2.40E+06	-
Dark count		100	270	400	Kcps
Terminal capacitance		35			pF
Time resolution (FWHM)		250	220	250	ps
Temp coefficient of bias voltage		50			mV/°C

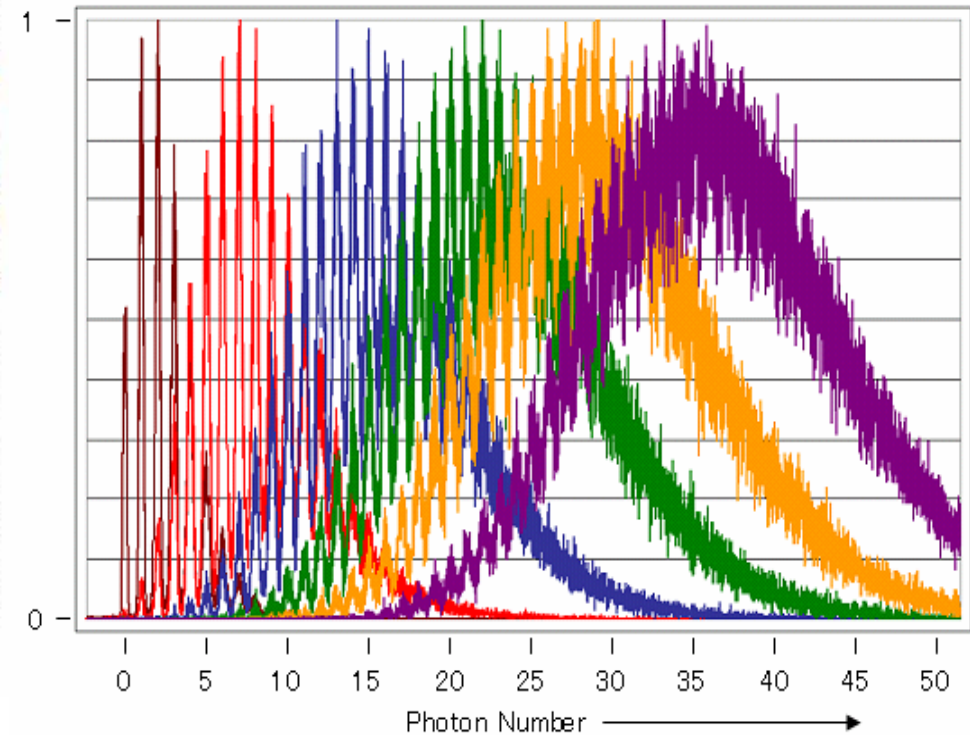
*The last letter of each product number indicates which type of package is used. (U : Can , C : Ceramic)

*1: The figures in PDE (Photon Detection Efficiency) include cross-talk and after pulse.

MPPCの出力

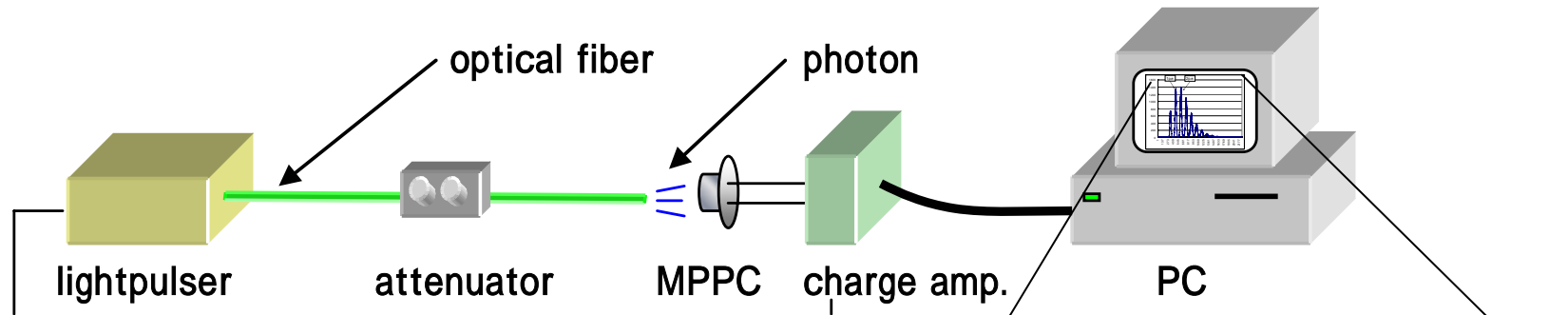


MPPCの出力パルス高さから
フォトン数をカウント
(リニアアンプを使用)



MPPCの出力電荷から
フォトン数をカウント
(チャージアンプを使用)

ゲイン測定

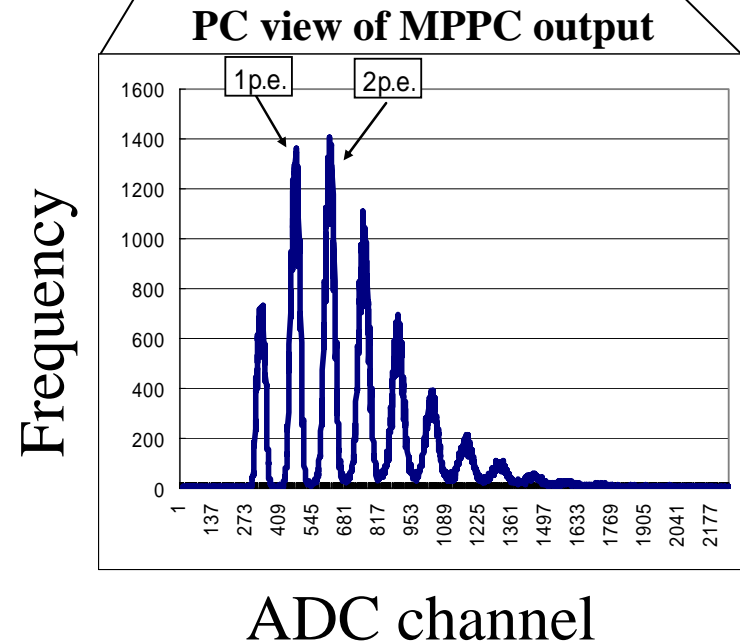


trigger from a lightpulsar →

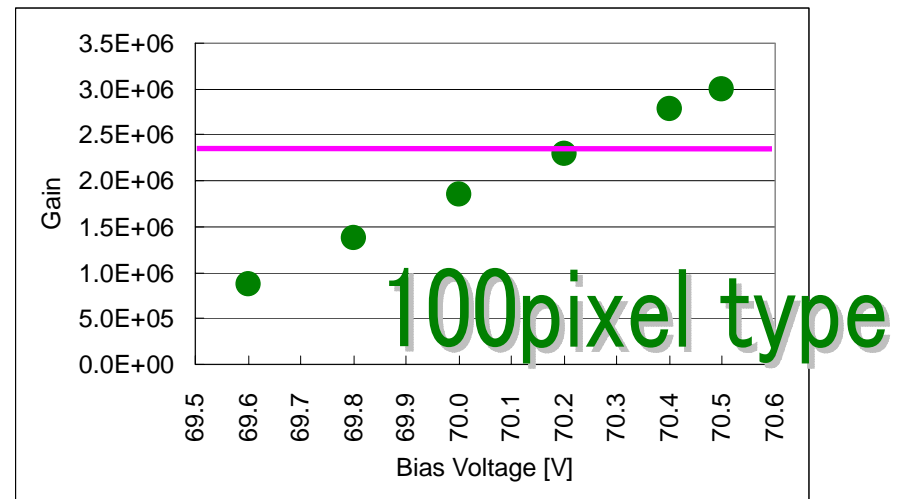
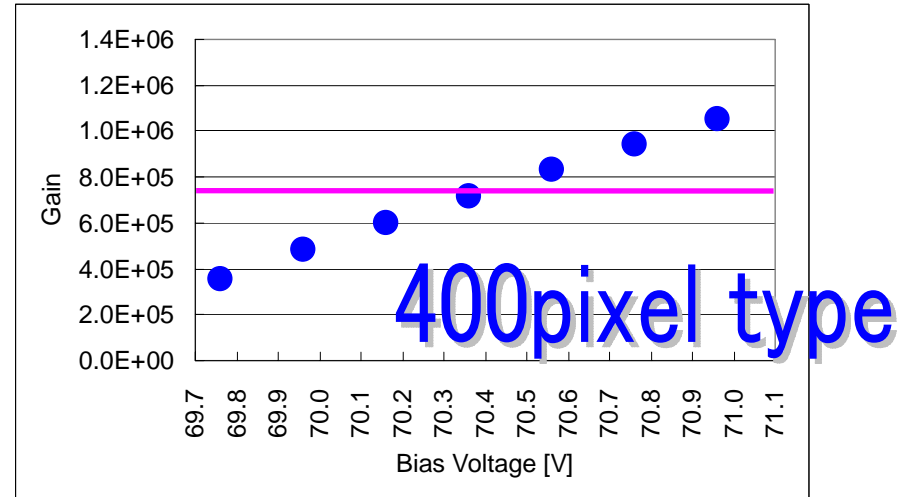
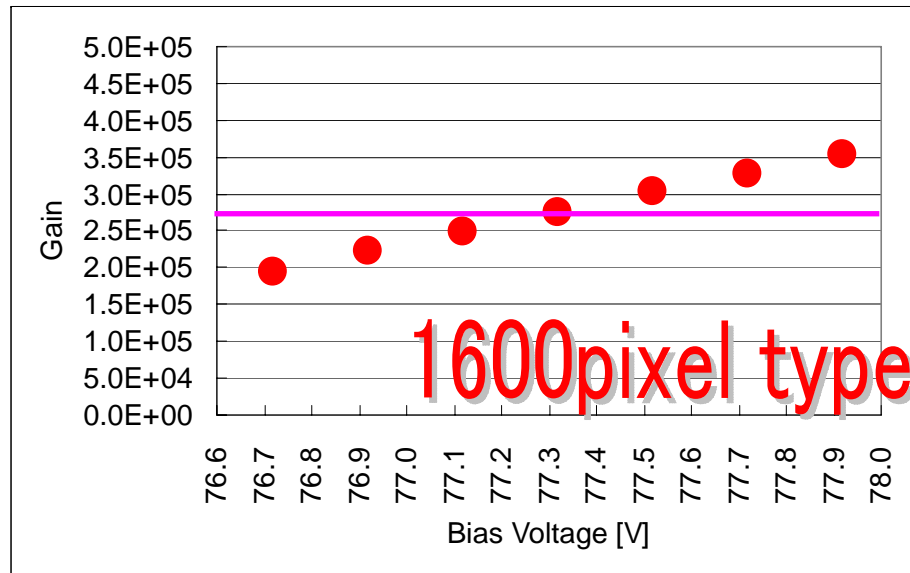
MPPCの出力はAD変換されチャンネルに分けられます。AD変換量(クーロン/ch.)が既知であれば、1p.e.と2p.e.のピーク間チャンネルからゲインを求める事ができます。

ゲイン

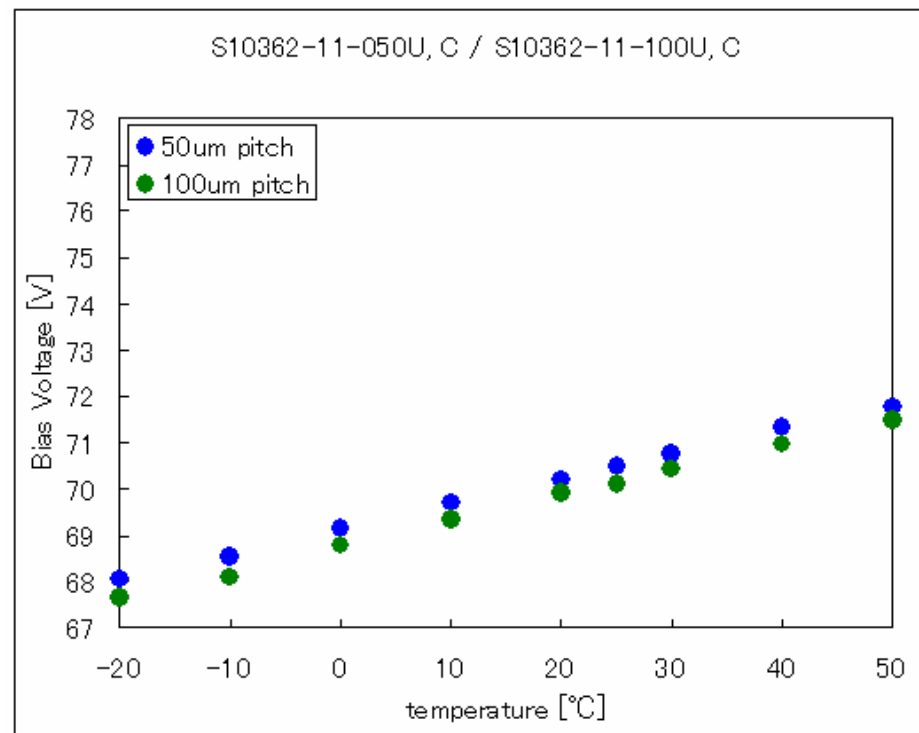
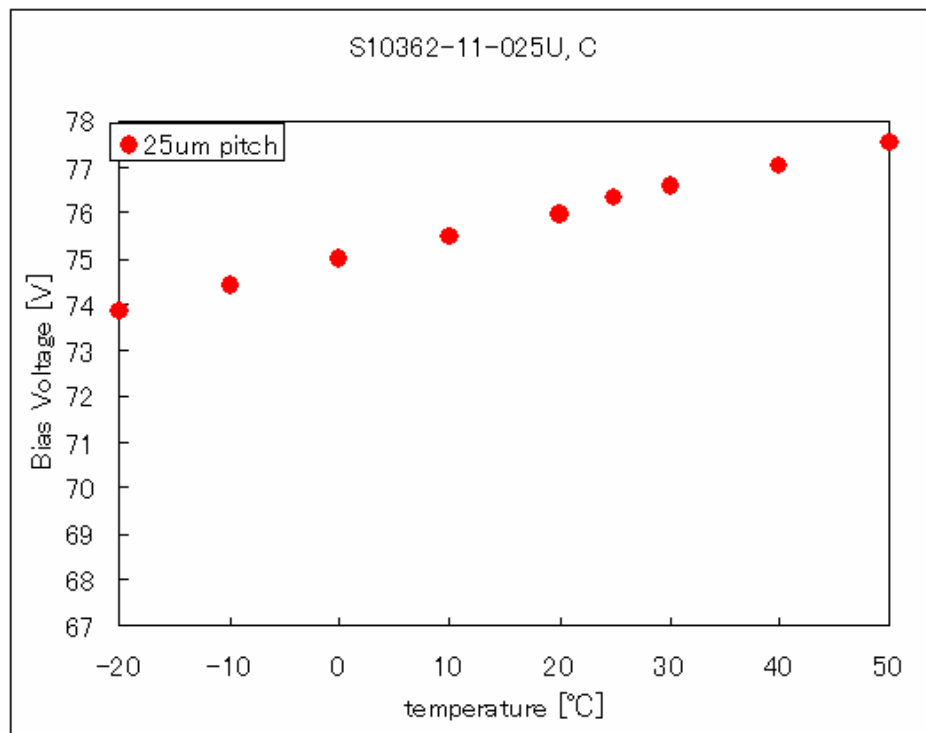
$$=(\text{ピーク間チャンネル数} \times \text{AD変換量}) / (1.6 \times 10^{-19})$$



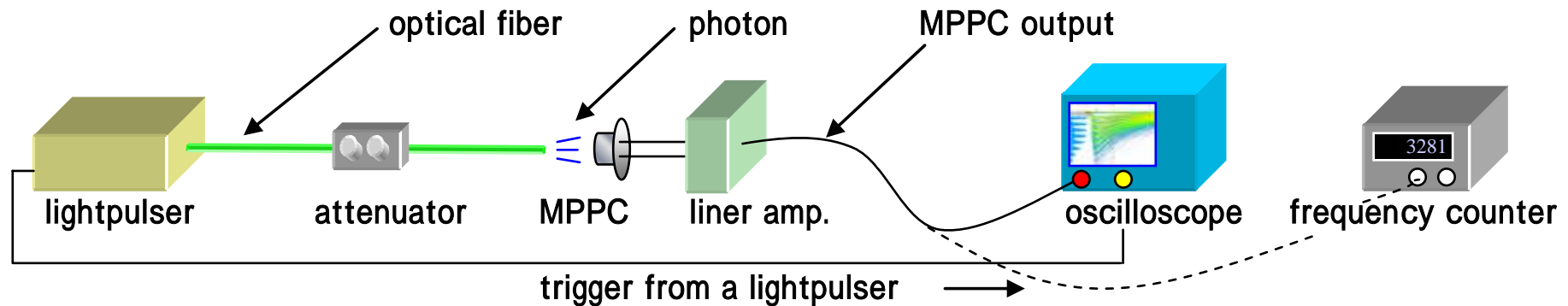
ゲインのバイアス依存性



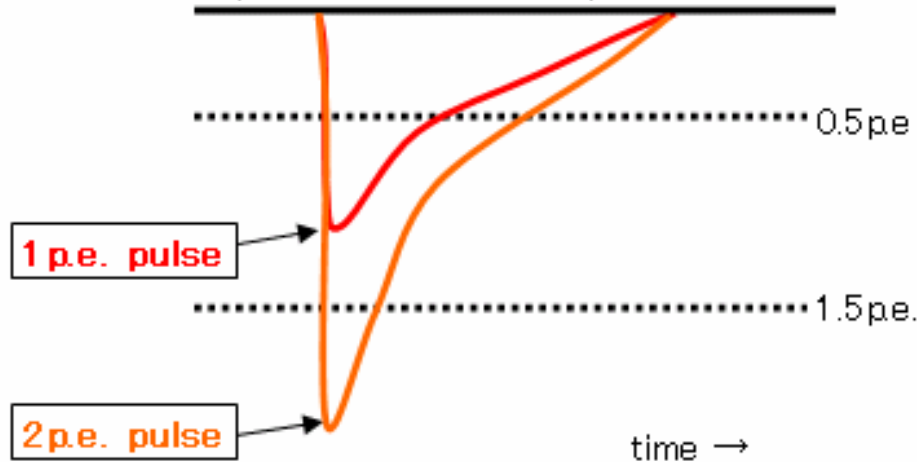
ゲインの温度依存性



ダークカウント測定

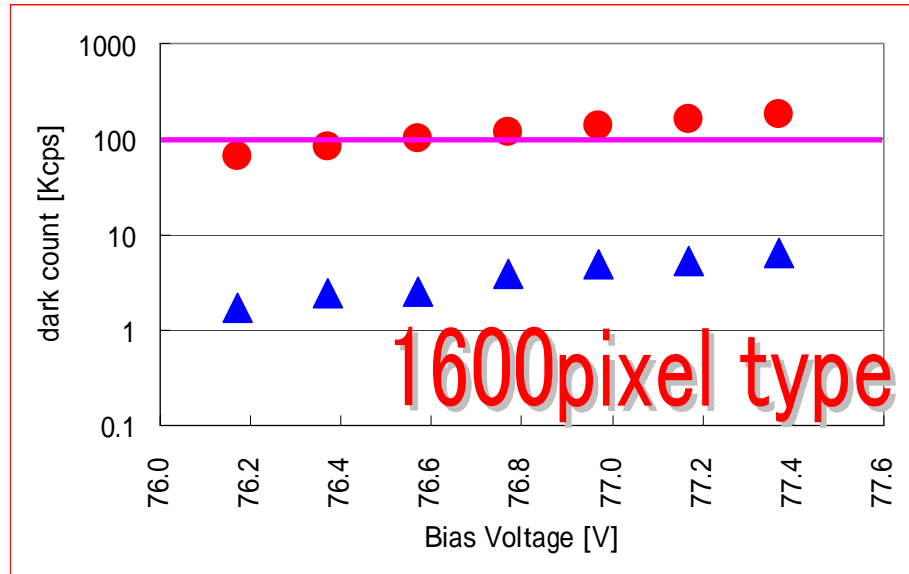


oscilloscope view of MPPC output



1p.e., 2p.e.のパルス高さから、0.5p.e.と1.5p.e.のパルス高さに閾値を設定します。MPPCに光が入らない状態で、これらの閾値を超えたパルス数をカウントすることで、0.5p.e.と1.5p.e.それぞれのダークカウント数を測定することができます。

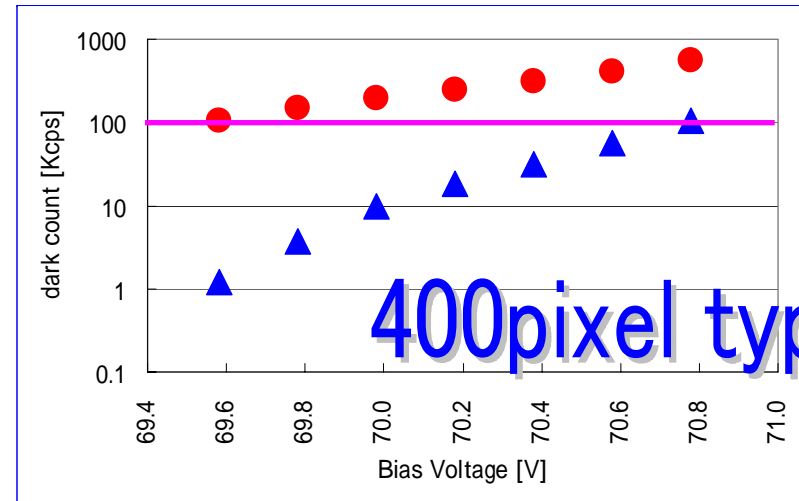
ダークカウントのバイアス依存性



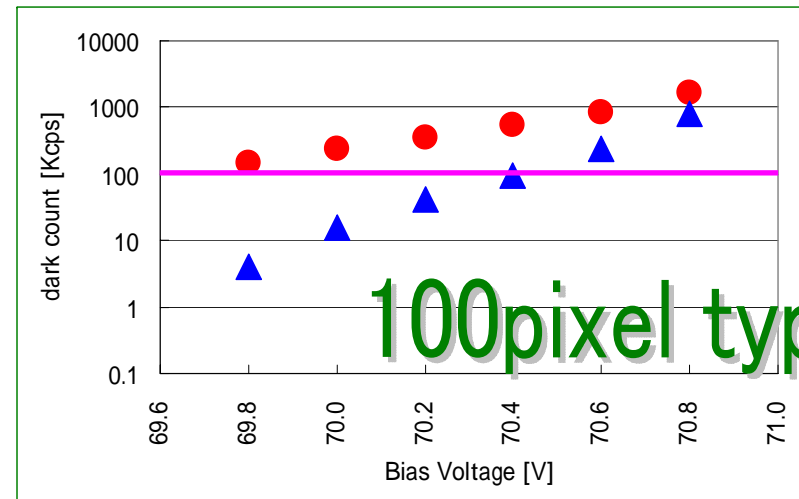
1600pixel type

: 0.5p.e. thr.

: 1.5p.e. thr.

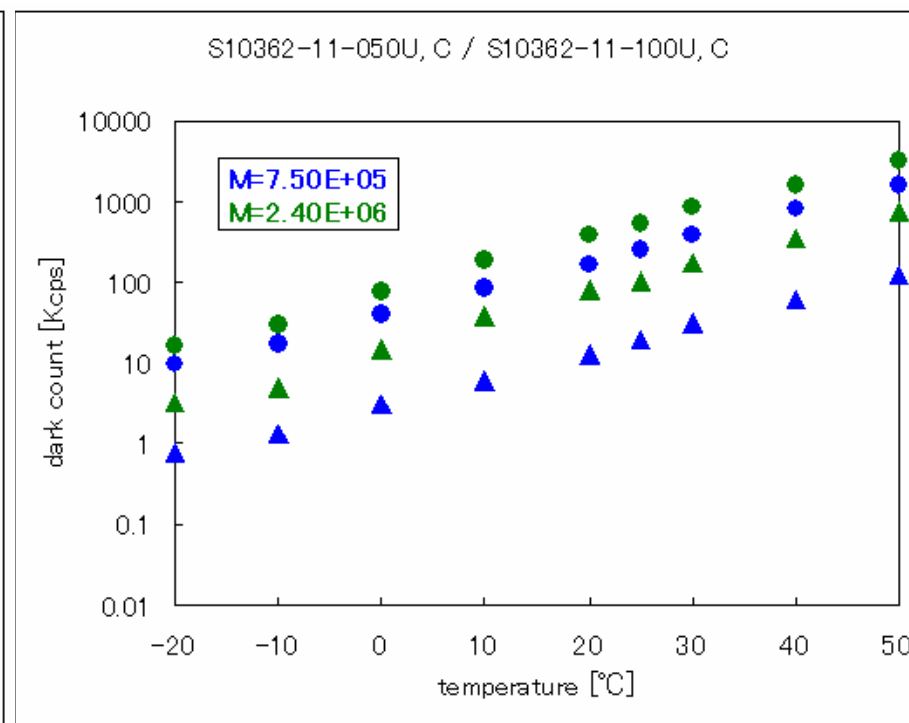
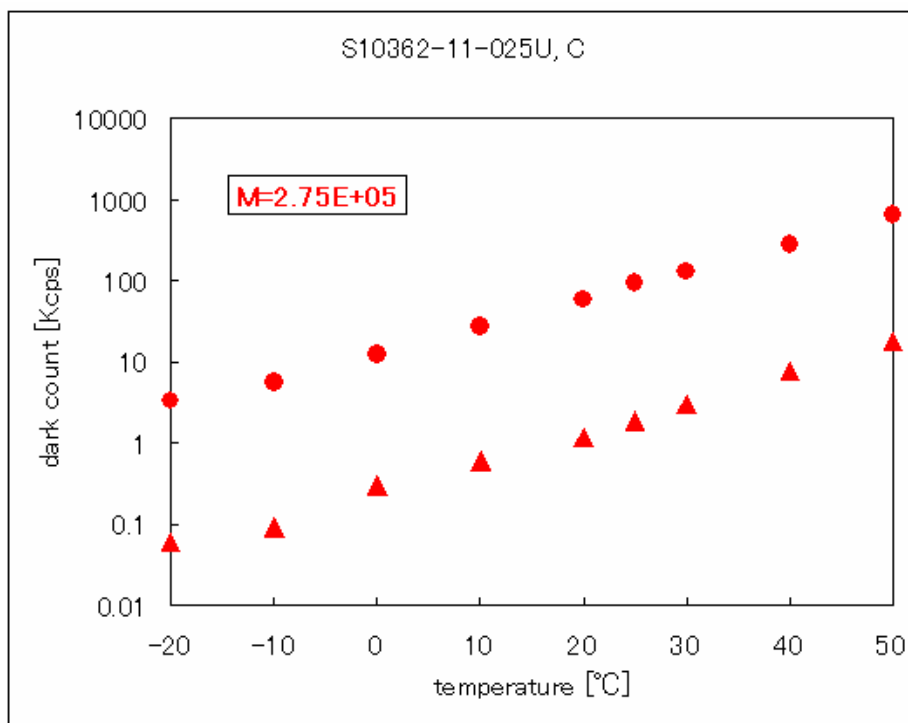


400pixel type



100pixel type

ダークカウントの温度依存性



Photon Detection Efficiency (PDE)

PDE は次式から導かれます

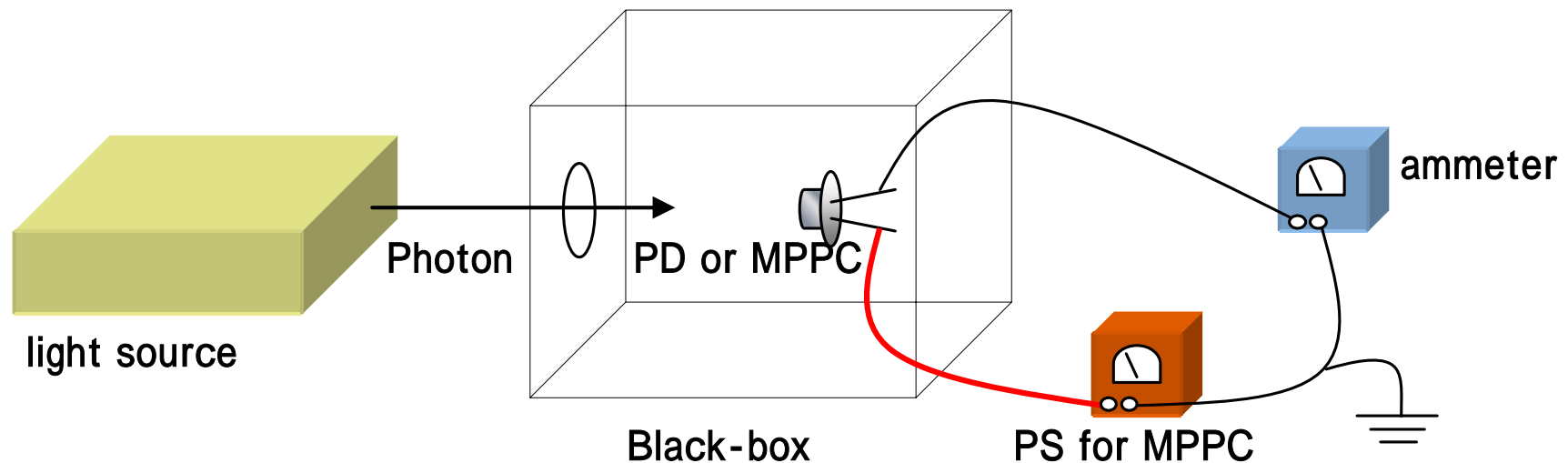
$$\text{PDE} = \text{Q.E.} \times F_{\text{geo}} \times \text{アバランシェ確率}$$

Q.E. : Quantum Efficiency (量子効率)

F_{geo} : 開口率

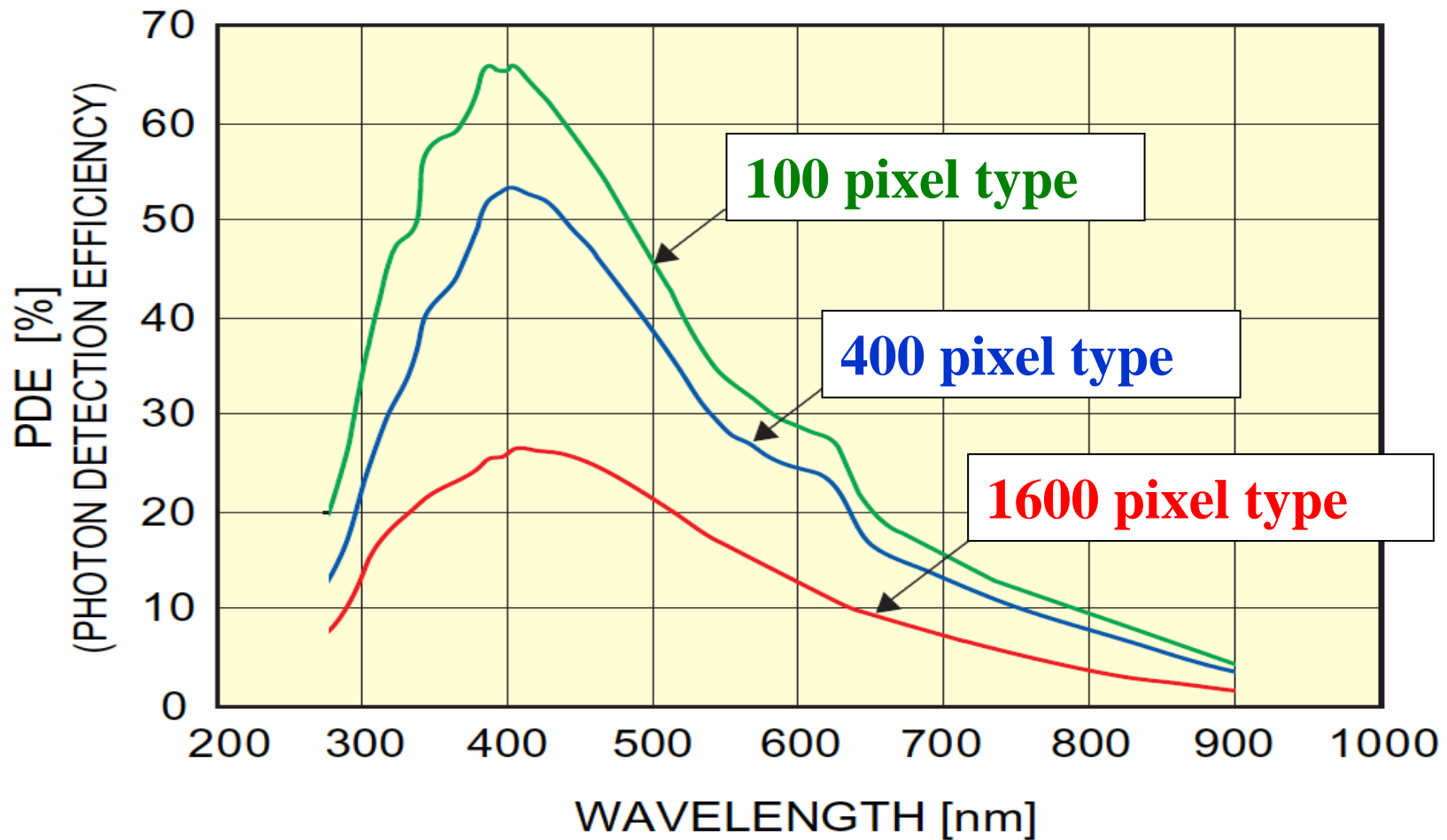
$$= S (\text{active area}) / S(\text{total})$$

PDE測定



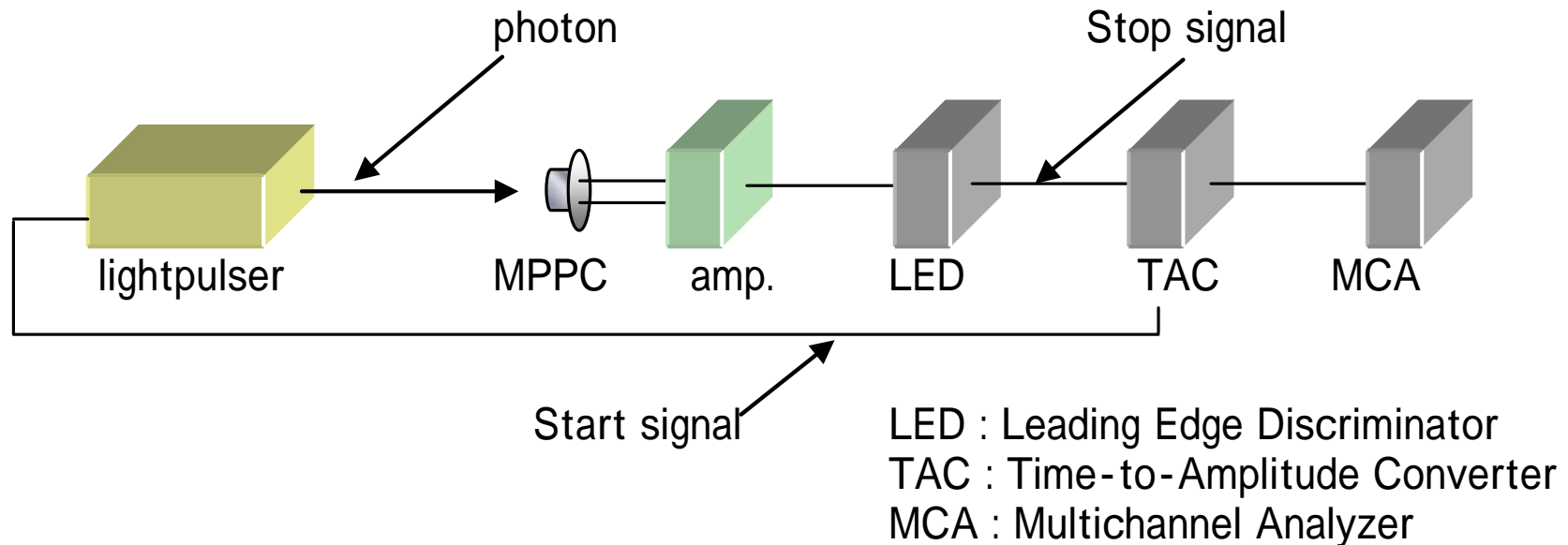
- 1) PDの光電流から入射光子数を算出
 - 2) MPPCをPDと入れ替え測定
MPPCのゲインと出力電流から検出光子数を算出
- 1) と 2) の比からPDEを求める

PDE



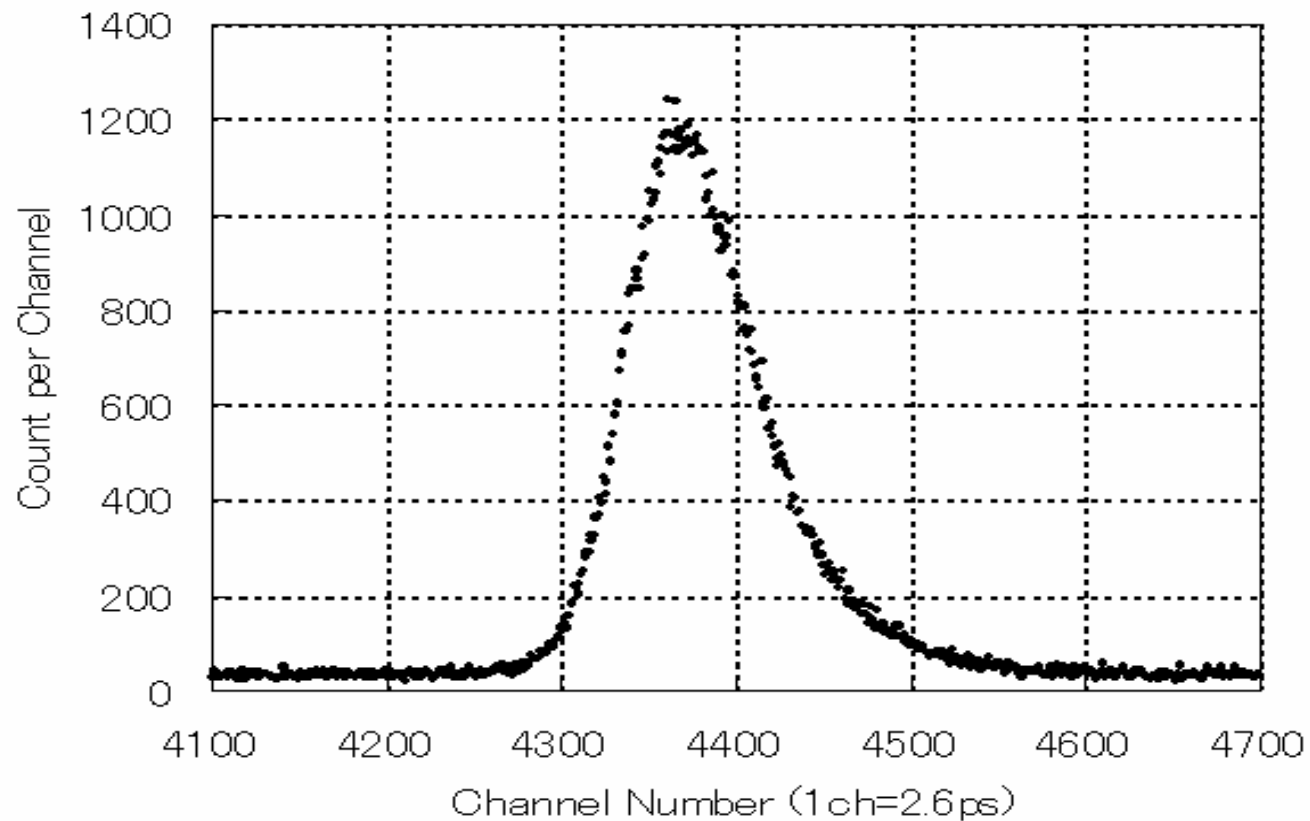
=400nm, including the cross-talk and after pulse

Time Transition Spread (T.T.S.) 測定 ~ MPPCの時間分解能測定 ~



MPPCに光が入ってからパルスが出力されるまでのジッターは、TACで時間に比例した高さを持つパルスに変換されます。この時間分布を統計的に処理する事で、MPPCの時間分解能を求めています。

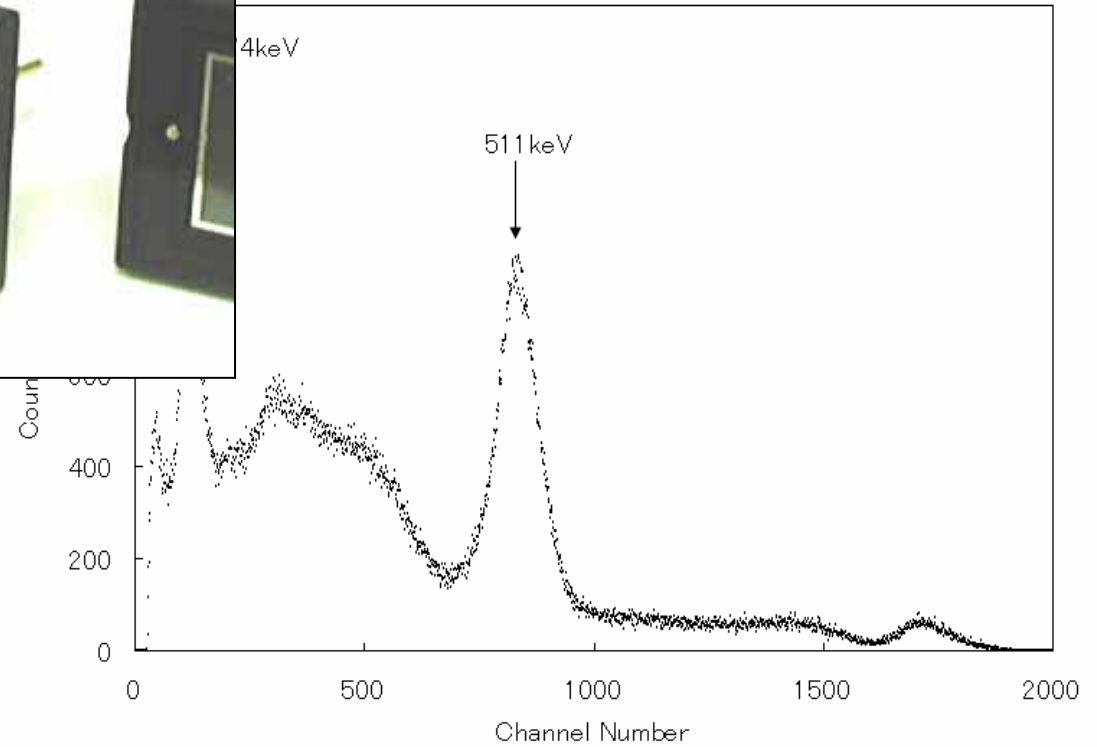
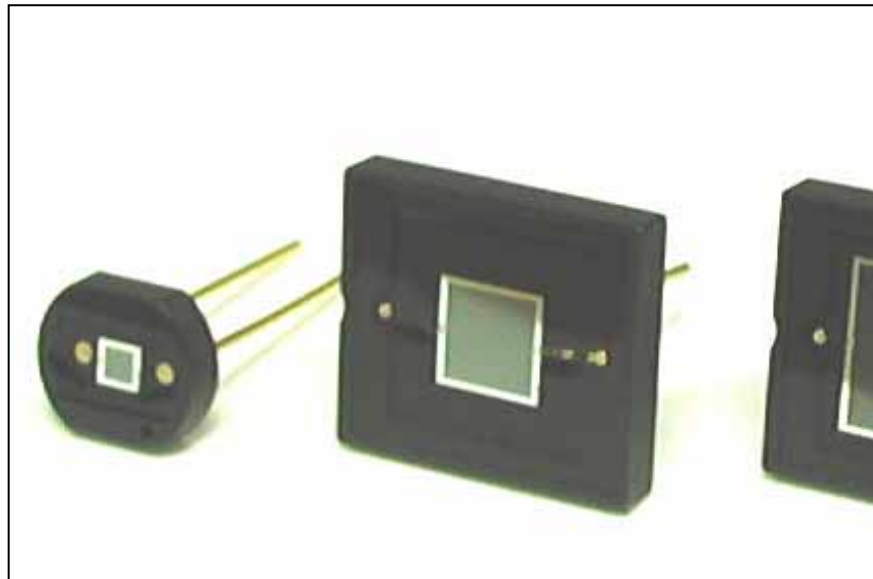
Time Transition Spread (T.T.S.)測定 ~ MPPCの時間分解能測定 ~



MPPCの将来計画

- クロストークの低減
- 大面積化
 - 3mm active area
 - 50um pitch, 3600 pixel type
 - 100um pitch, 900 pixel type
- 検査データの充実
 - エネルギー分解能

MPPCの将来計画



MPPC module

- 特徴
 - ガイガーモード動作マルチピクセルAPD (MPPC) を使用
 - MPPC に最適な信号読み出し回路内蔵
 - 高圧回路および温度補償回路搭載
 - 3種類の出力行体 (アナログ出力・コンパレータ出力・パルス計数値)
 - USB インターフェース搭載で、取り扱いが容易
(バスパワーによる駆動が可能)
 - 小型、軽量
- 応用
 - 蛍光発光測定
 - 環境分析
 - 微弱光検出
 - 分析装置



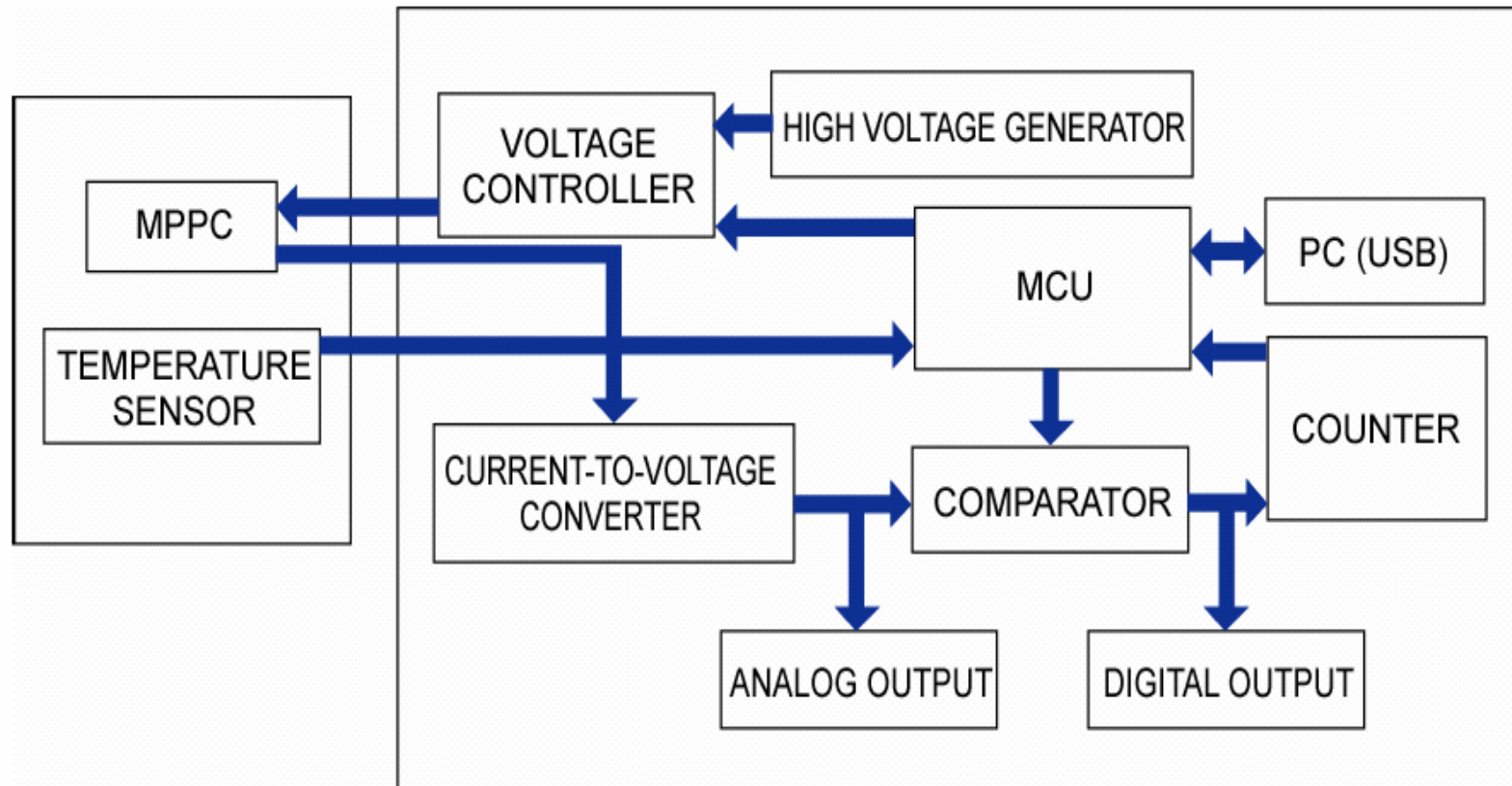
MPPC モジュールの仕様

■ Electrical and optical characteristics (Typ. Ta=25 °C)

Parameter	Condition	25um type	50um type	Unit
Sensor size		1 x 1	1 x 1	mm
Number of pixels		1600	400	pixels
Peak sensitivity wavelength		400	400	nm
Output voltage		100	100	mV/p.e.
Photon detection efficiency		25	50	%
Dark count	0.5 p.e.	100	270	kcps
Temperature stability of gain	25 ±10 °C	±2.5		%
Comparator threshold level		Variable		-
Interface		USB		-
Board dimensions		80 x 50		mm

MPPC モジュールブロックダイアグラム

■ Block diagram



MPPC モジュールの将来計画

- ペルチェ冷却タイプ
- ファイバー直結タイプ