

リーディング大学院プログラム 「最先端の光センサー開発」 科学計測用受光素子の技術紹介

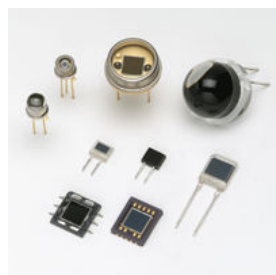


2013/09/17 (火)

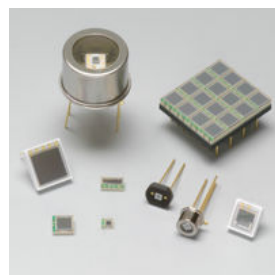
HAMAMATSU PHOTONICS K.K.

固体営業推進部 袴田 康男

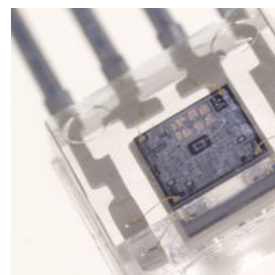
浜松ホトニクス 固体事業部の製品



Siフォトダイオード



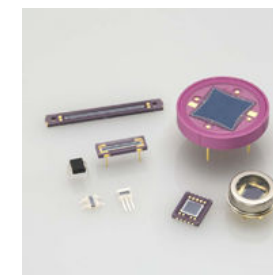
Si APD・MPPC



フォトICと関連製品



イメージセンサ



PSD



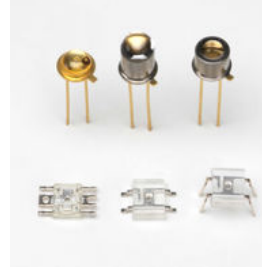
赤外線検出素子



可視光/照度センサ



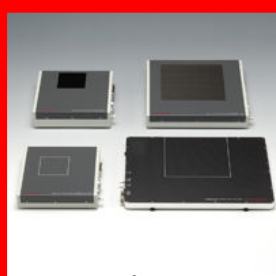
カラーセンサ



LED



光通信デバイス



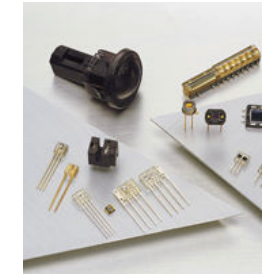
フラットパネルセンサ



ミニ分光器



光半導体モジュール



車載用デバイス



LCOS-SLM

本日の講義概要

1. Si フォトダイオード
動作原理
応用例
2. Si APD (アバランシェ・フォトダイオード)
動作原理
応用例
3. MPPC[®] (マルチ・ピクセル・フォトン・カウンタ)
動作原理
特長
応用例
4. 科学計測用イメージセンサ
5. フラットパネルセンサ

Si フォトダイオード

紫外～近赤外域、放射線に対応したラインアップ

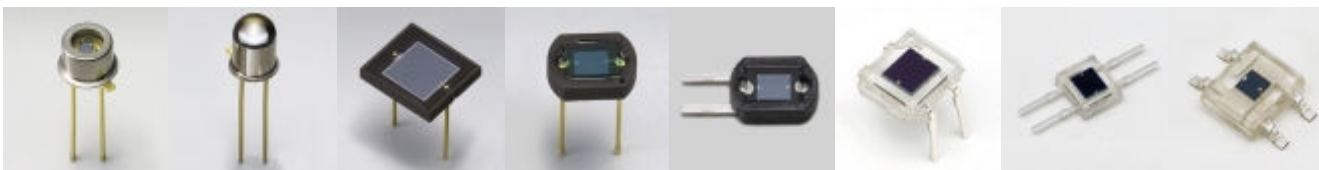


Si フォトダイオード の主な製品ラインアップ^o

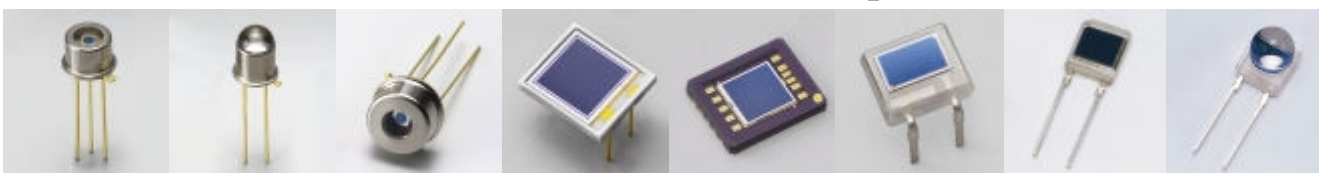
1. 精密測光用 Si フォトダイオード (紫外線～近赤外線)



2. 一般測光用 Si フォトダイオード (可視～近赤外)



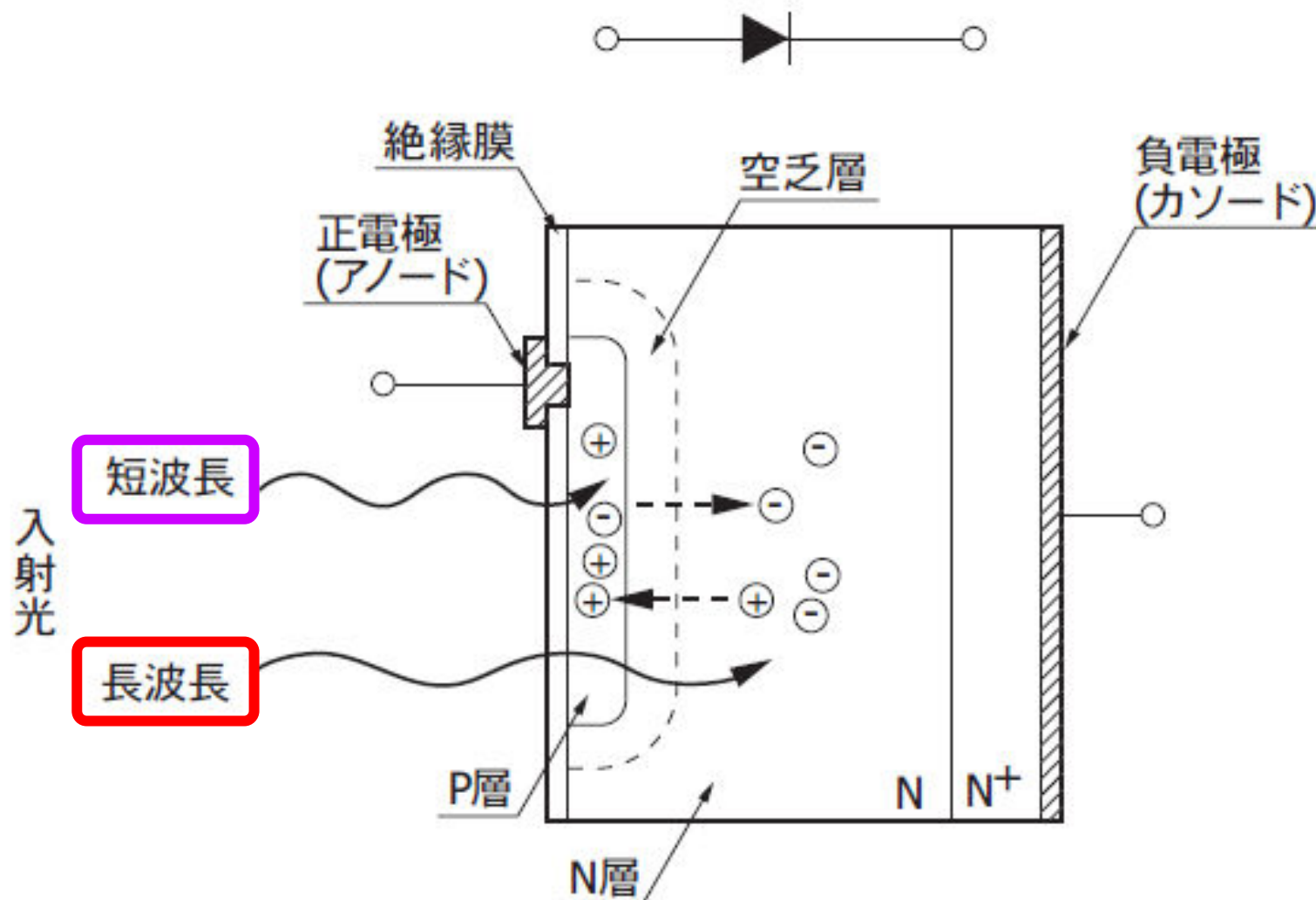
3. 高速応答 PIN フォトダイオード (100MHz～1GHz)



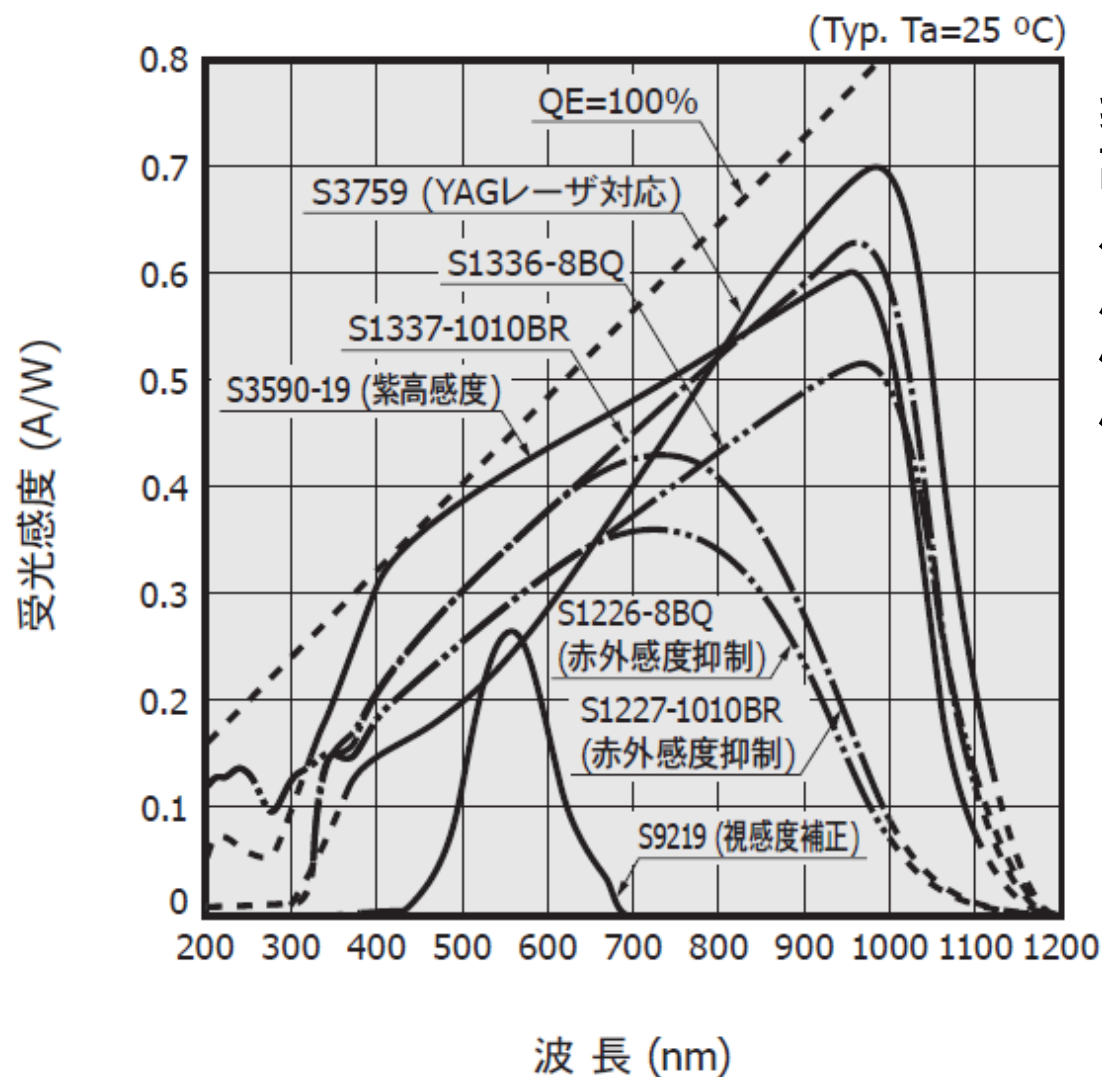
4. 多素子型 Si フォトダイオード (アレイ)



Si フォトダイオードの動作原理



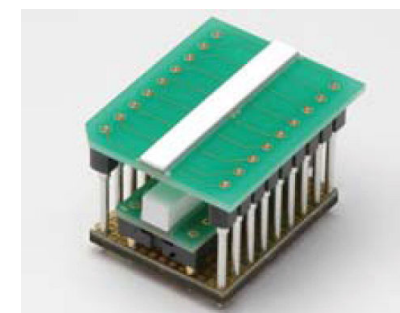
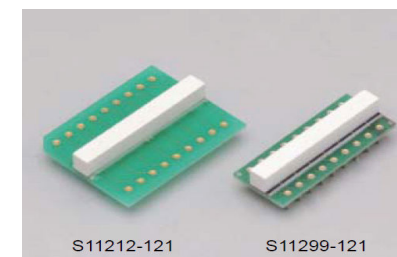
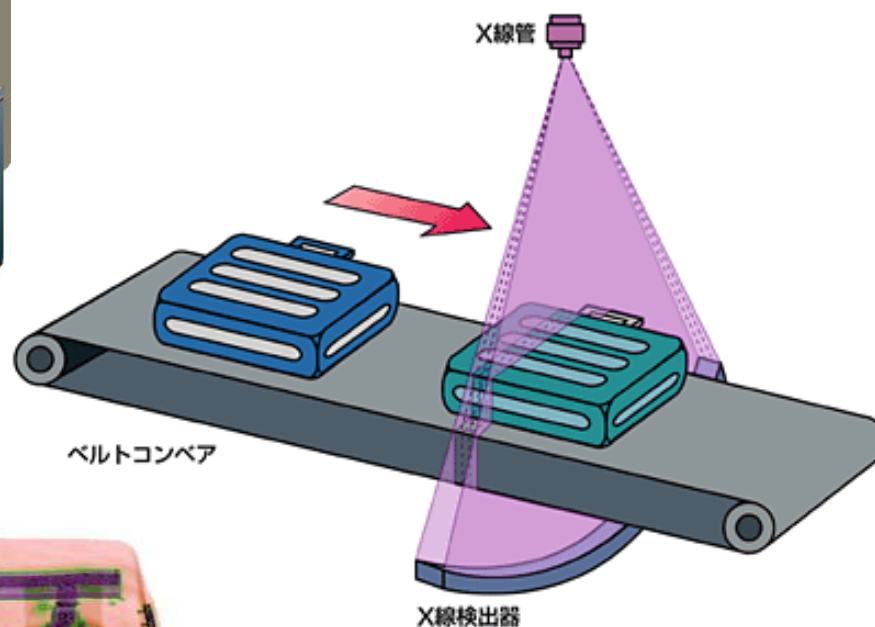
Si フォトダイオードの特性（分光感度）



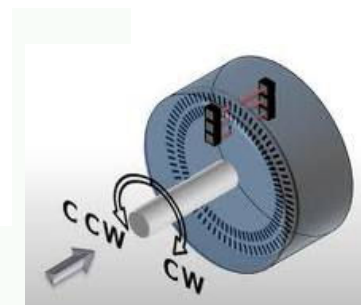
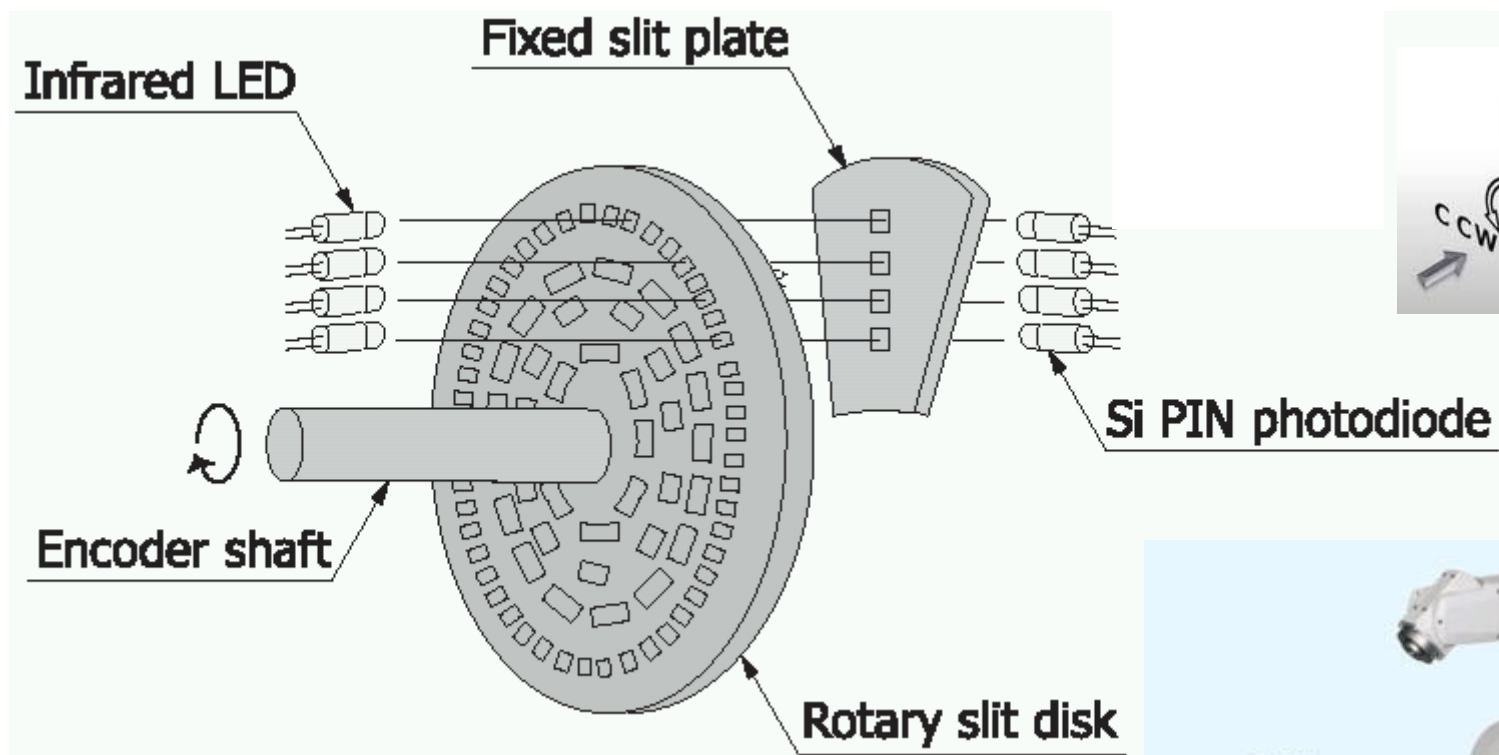
紫外(UV)～近赤外(NIR)
高感度(0.12A/W @ $\lambda=200\text{nm}$)
バラツキが小さい
用途に応じた様々な特性
低暗電流
低容量

Siフォトダイオードの応用例

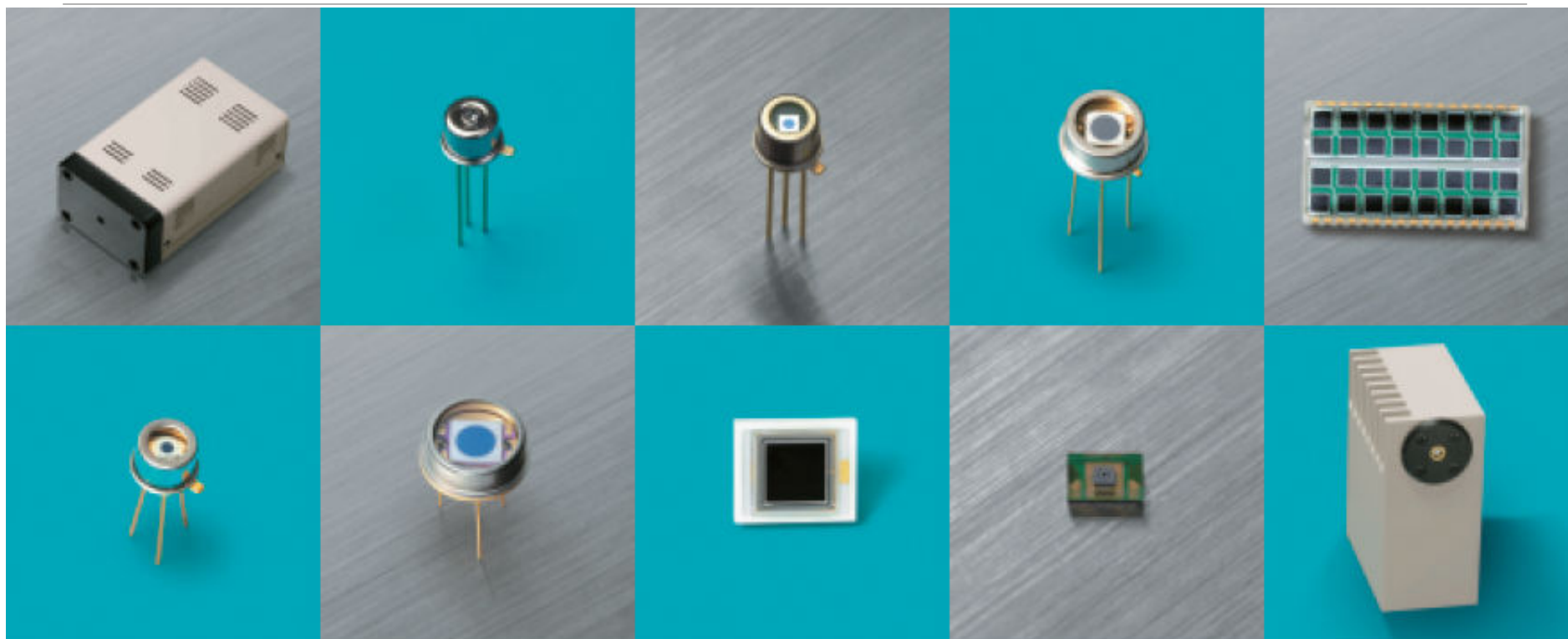
X線検出器:手荷物検査装置



Siフォトダイオードの応用例 ロータリーエンコーダ (FA用途)



Si APD (アバランシェ・フォトダイオード)



Si AVALANCHE PHOTODIODES

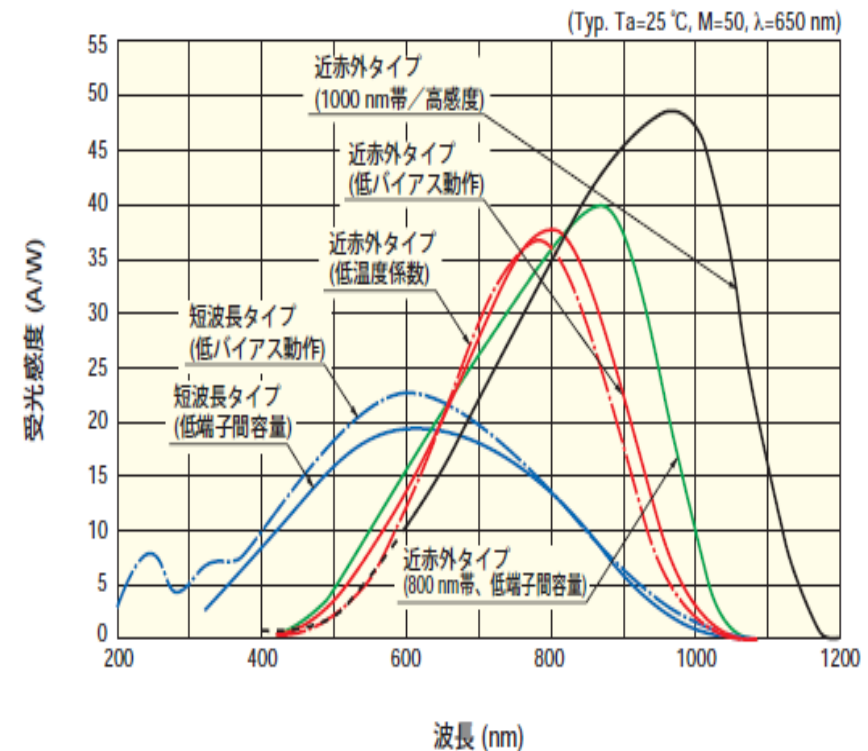
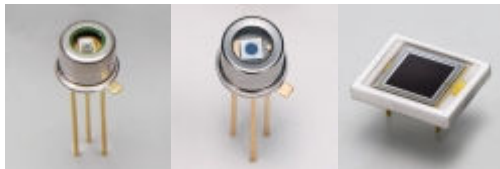
内部増倍機能をもった高速・高感度のフォトダイオード

Si APD (アバランシェ・フォトダイオード)

1. 近赤外タイプ° (800nm帯) リーチスルー型



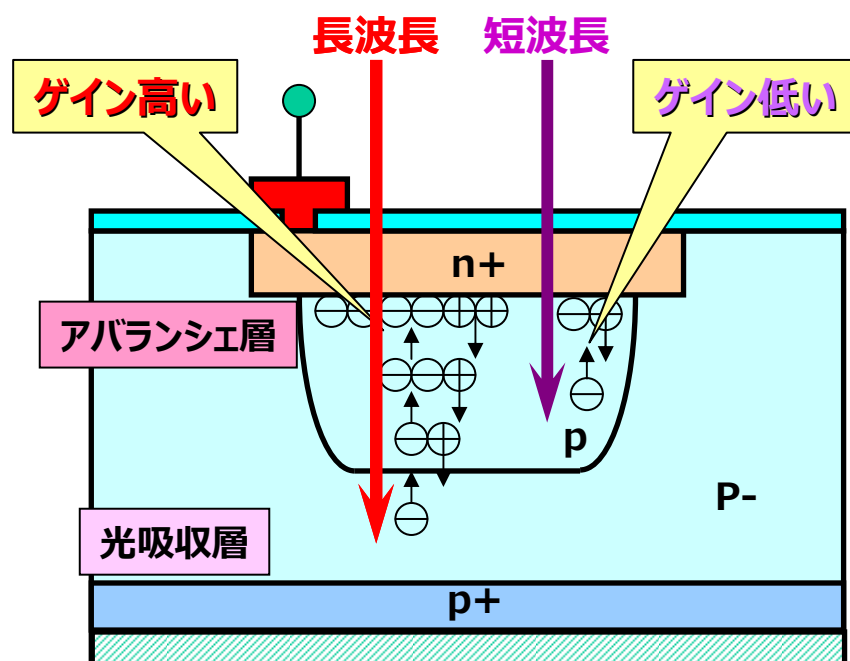
2. 短波長タイプ° (600nm帯) リバーサ型



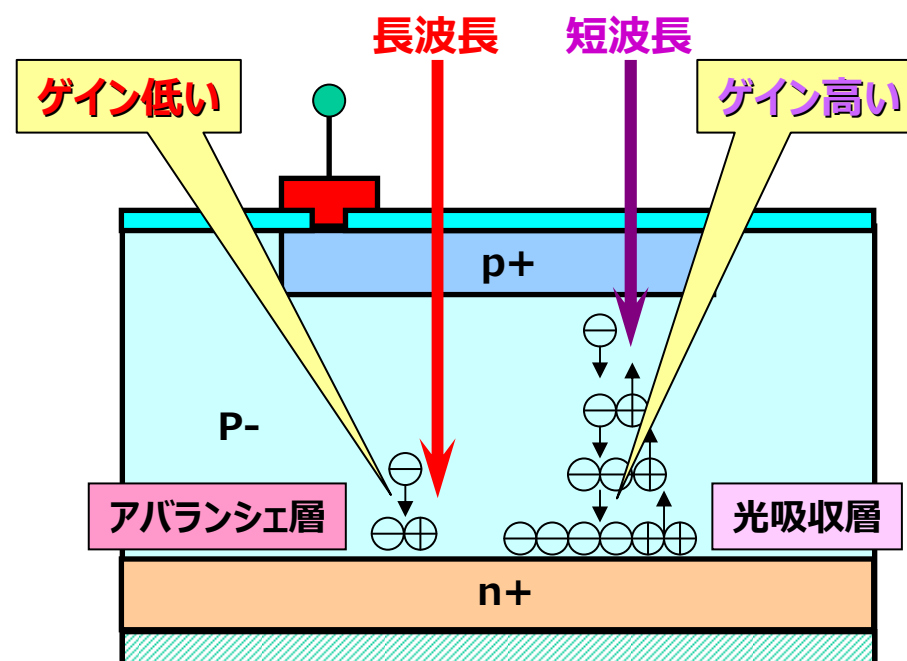
**逆電圧を印加することで、光電流が増倍 (50-100倍)
される高速・高感度のフォトダイオード**

Si APDの構造

リーチスルータイプ



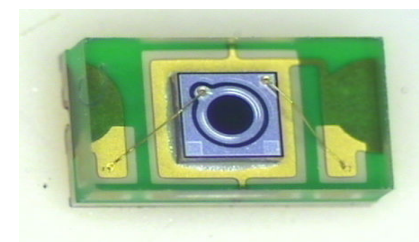
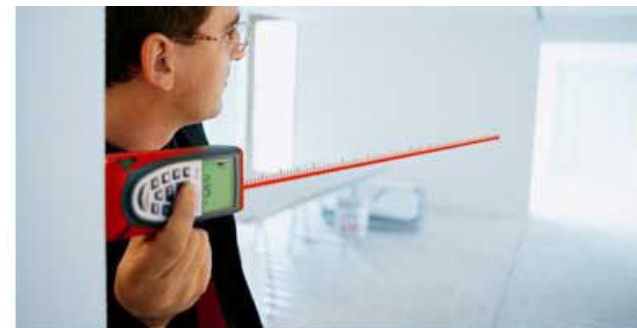
リバースタイプ



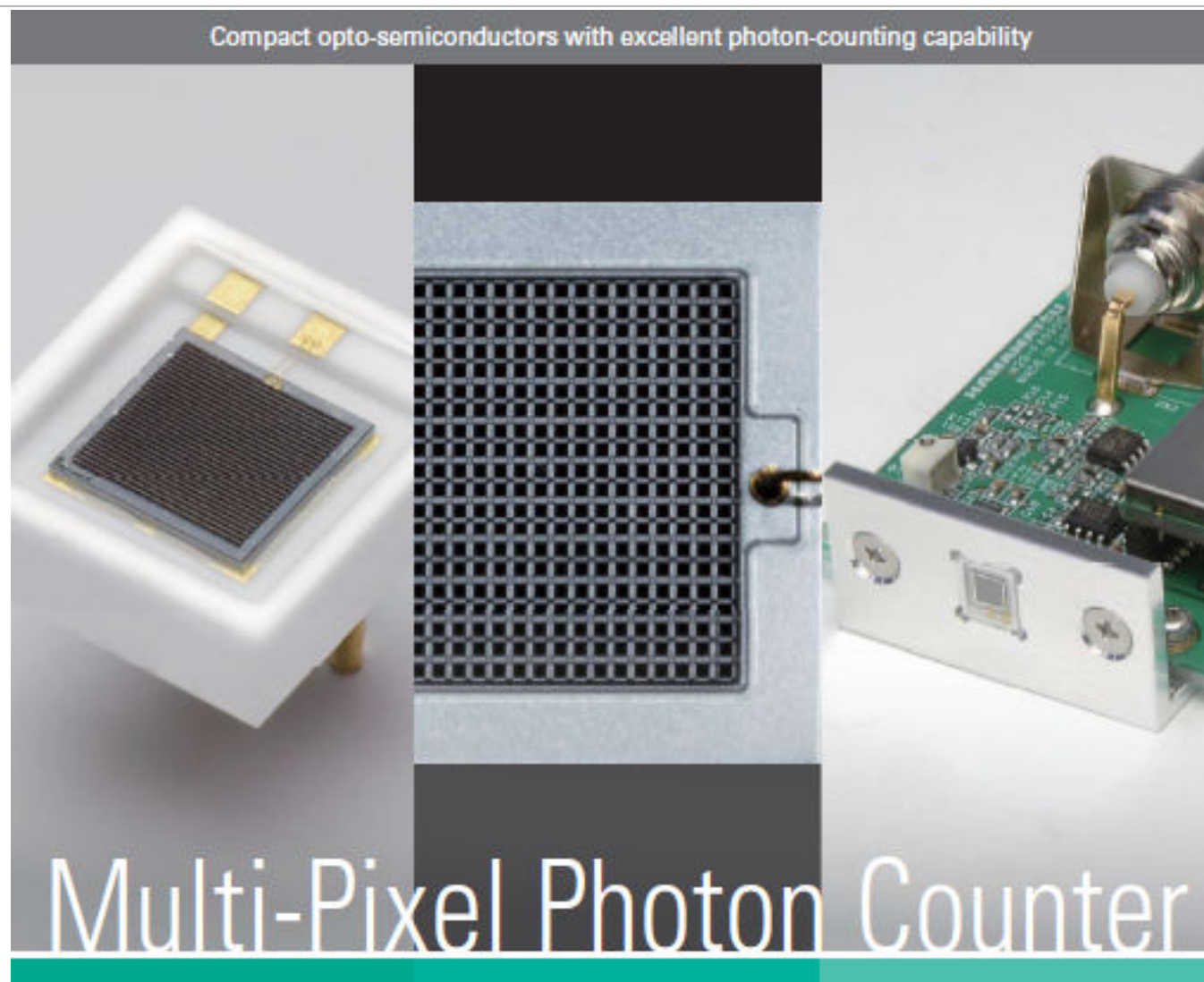
シリコンでは電子のイオン化率が高い
光吸収層で発生した電子をアバランシェ層に注入
アバランシェ増倍により、ゲイン50-100を得る。
⇒ 検出波長に応じて構造を選択

Si APDの応用例

レンジファインダー(距離計)



MPPC® (マルチ・ピクセル・フォトン・カウンタ)



MPPC® (マルチ・ピクセル・フォトン・カウンタ)

- MPPC® (Multi-Pixel Photon Counter) は、ロシアで開発されたSi-PM (Silicon Photomultiplier) と呼ばれるフォトンカウンティング半導体素子の一種です。
- 浜松ホトニクス技術により、高い検出効率、高速応答性、低ダーク成分を実現しています。
- **2007年2月 販売開始**

MPPC®の特長

半導体内部でフォトンのエネルギーによって生じた電荷を増倍

- ◆ **高い増倍率**
- ◆ **常温で使用可能**
- ◆ **磁場の影響を受けない**
- ◆ **半導体のフォトンカウンティング素子としては大きな受光面積**
- ◆ **ダークが多い**
- ◆ **アフターパルス・クロストークが多い**

MPPC®の特長

- 低電圧動作（約60～70V）
- 高い増倍率： $10^5 \sim 10^6$
- 室温で動作可能
- 磁場の影響を受けない
- 小型パッケージ
- 複雑な回路を要しない
- 数十から数百個、同時に入射する光子数をカウントするのに適している
- 入射時間が既知の光子を検出するのに適している

MPPC®の動作原理

MPPC®はアバランシェフォトダイオード（APD）の一種で、
ガイガーモードで動作します。

ガイガーモードの特徴

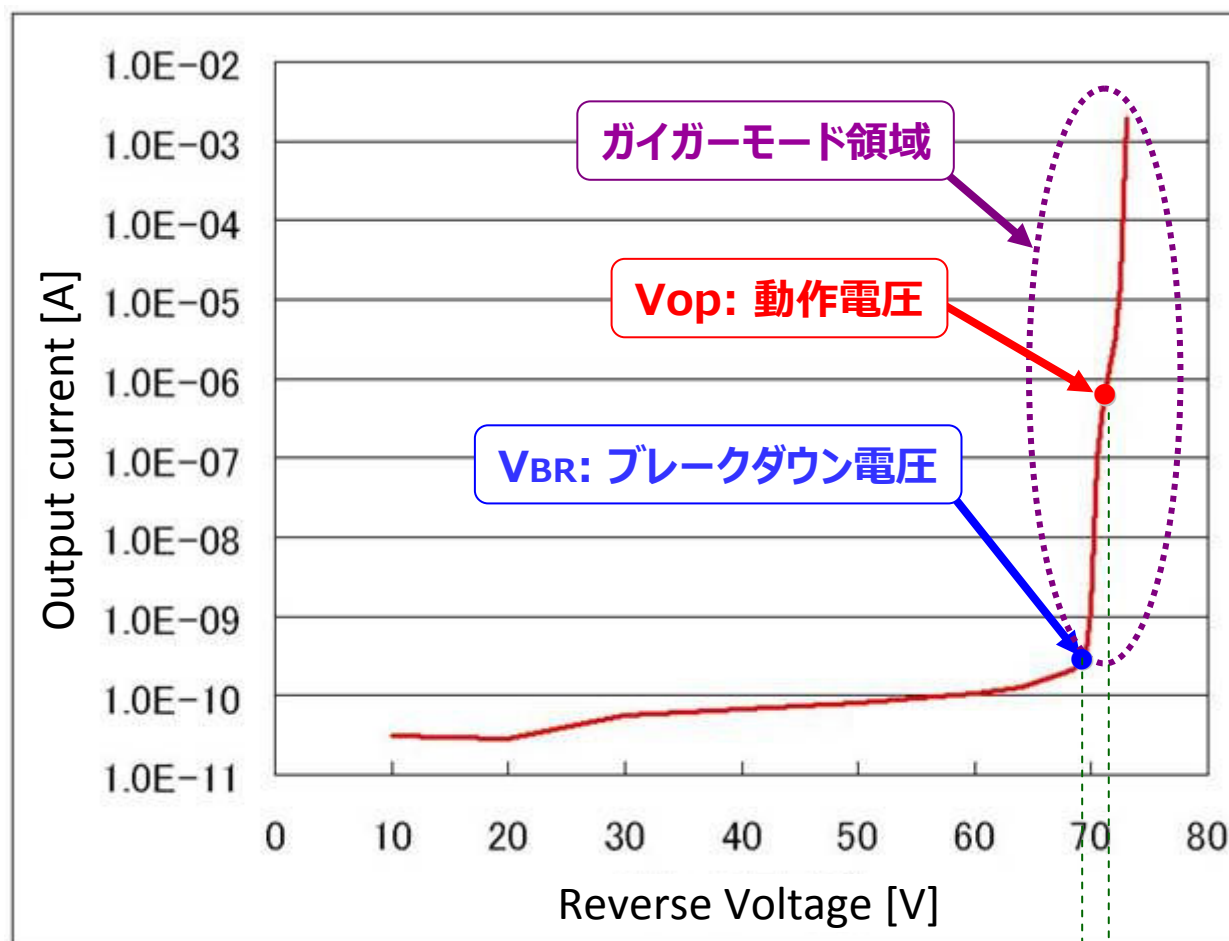
ブレークダウン電圧より高い電圧を印加する
フォトンの入射などにより大きな電流が流れる

クエンチング抵抗の存在により、印加電圧が下がり
ガイガーモード領域から外れるので、電流は瞬時に止まります。
→ パルス状の特徴ある出力になります

MPPC®の基本構造

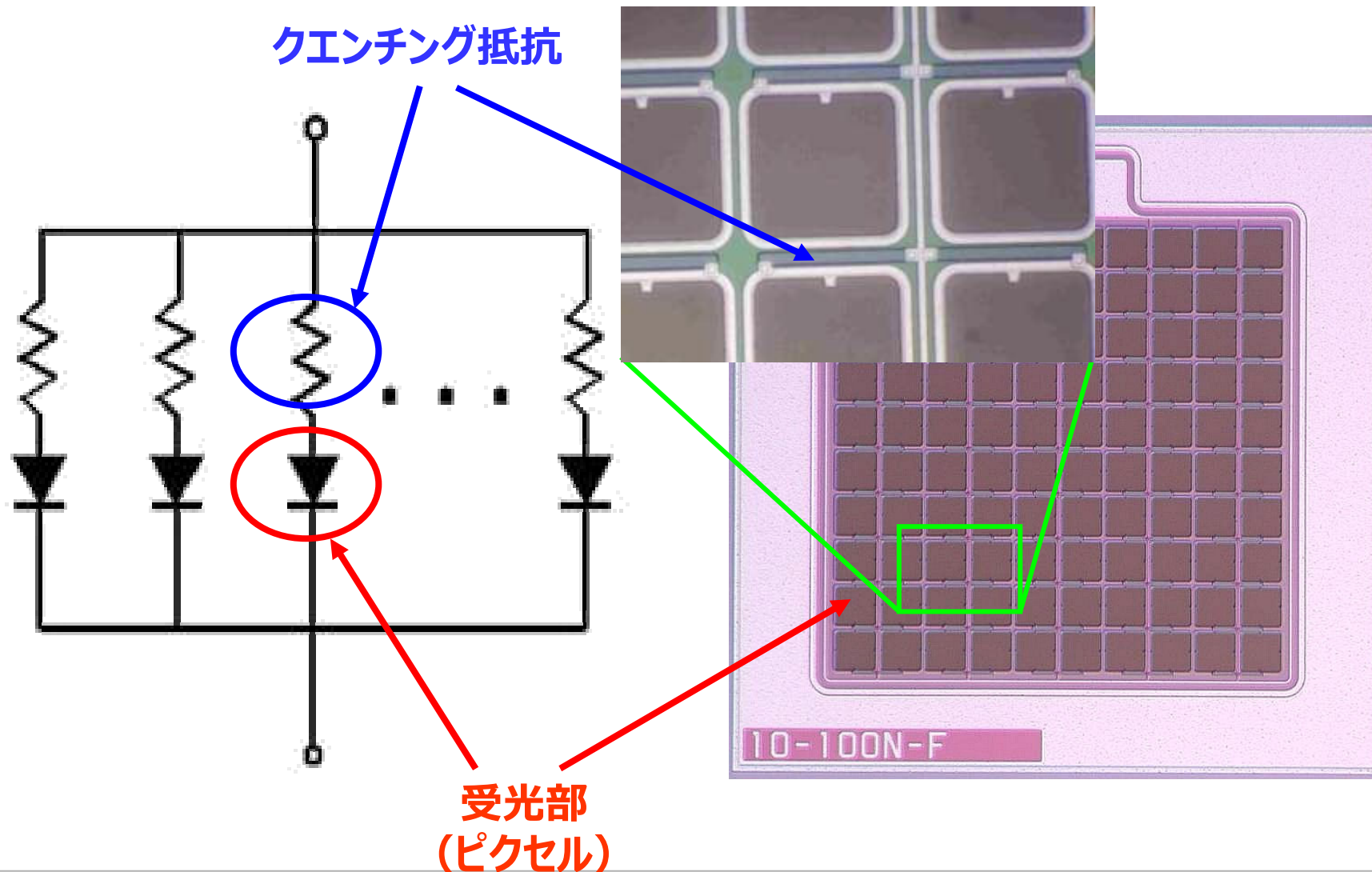
ガイガーモードAPD + **クエンチング抵抗**

MPPC[®]の動作原理

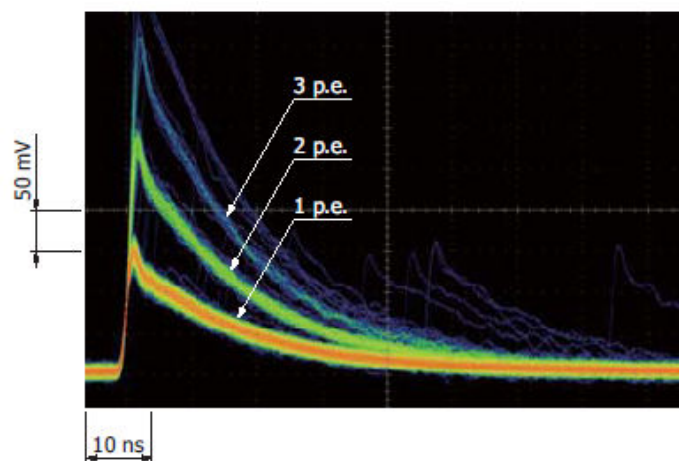
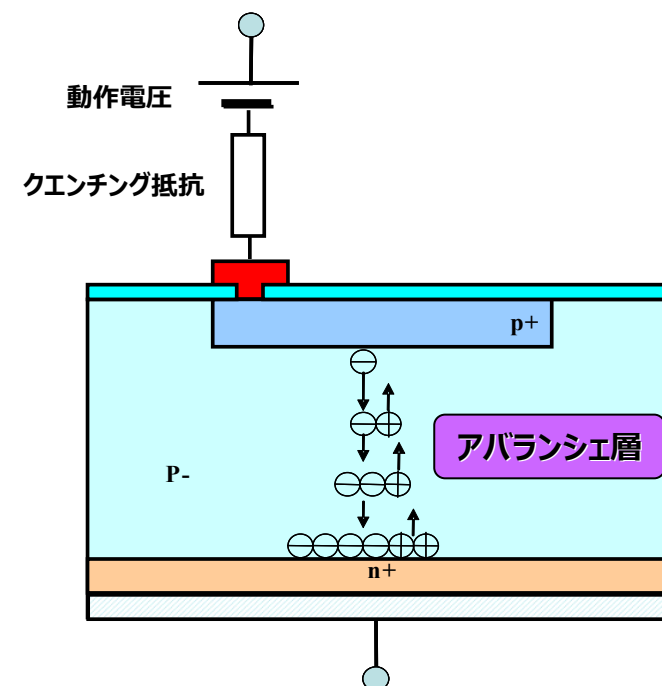
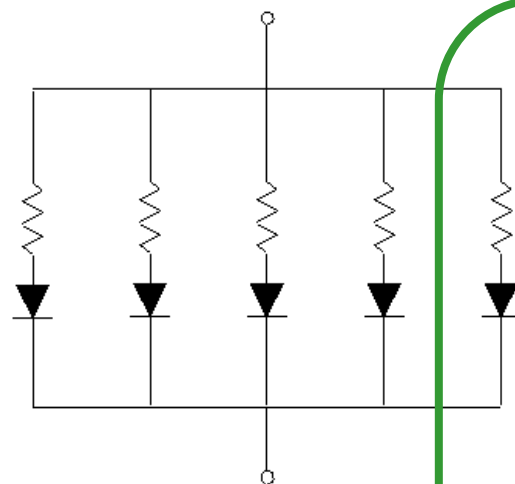
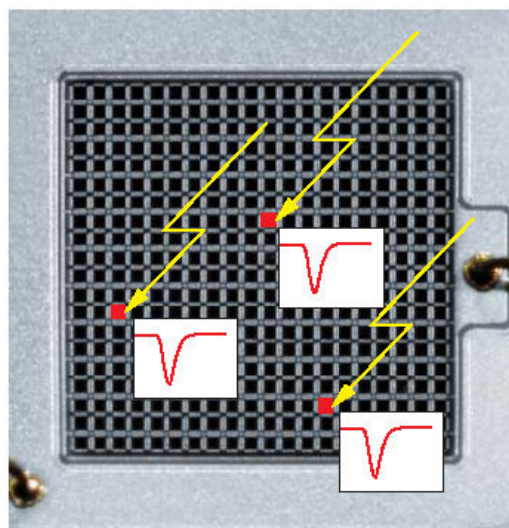


Vov: オーバー電圧
 $Vov = Vop - VBR$

MPPC[®]の基本構造



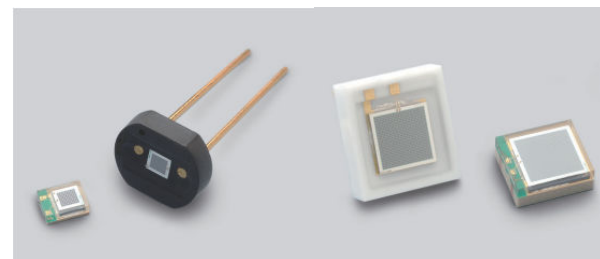
MPPC[®]の動作



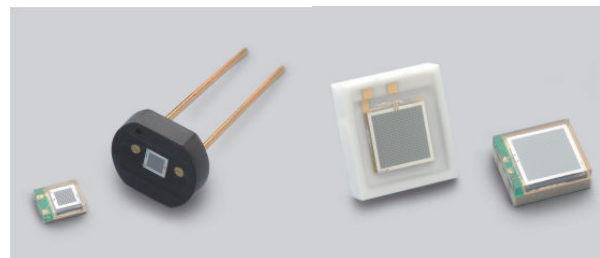
各ピクセルが光子の入射でパルスを出力
ピクセルが個別にON/OFF判定
MPPCの出力は、複数ピクセルの出力の和

MPPC[®]製品のラインアップ

1. 低アフターパルス、一般計測用
ピクセルピッチ 25,50,100 μ m



2. 低アフターパルス、広ダイナミックレンジ、高速計測用
ピクセルピッチ 10,15 μ m
小ピクセルによる高速応答

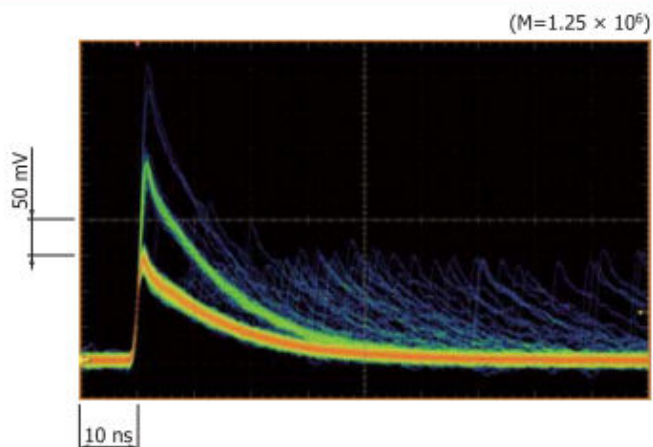


3. 低アフターパルス、極微弱光計測用
電子冷却素子内蔵
低ダークカウントを実現



HPK製MPPC®の特長：低アフターパルス

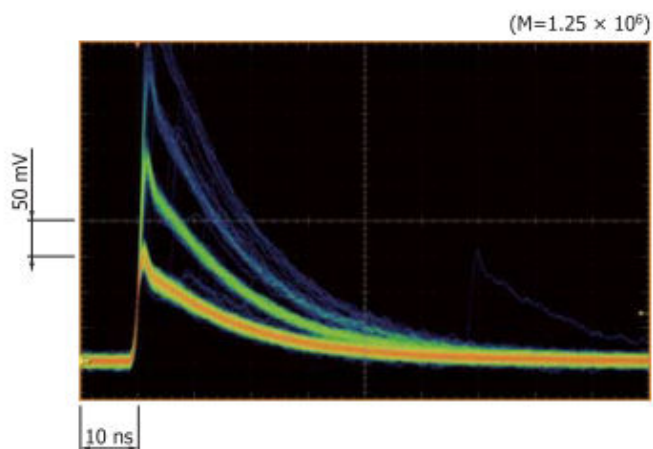
S10362-11-050C (previous product)



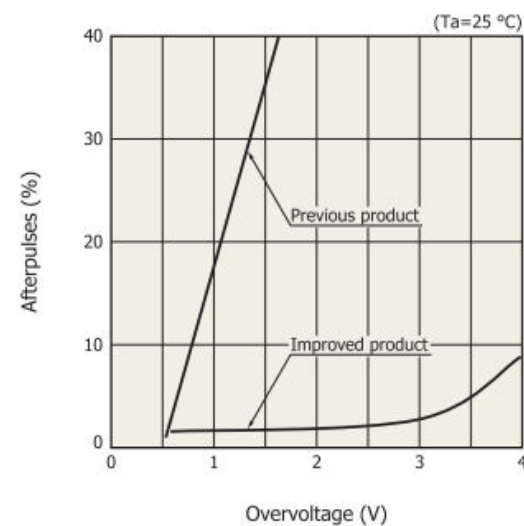
アフターパルス
フォトン入射タイミングから遅れて出力される信号
検出における偽の信号となる。

材料の選択やウェハプロセスの改善で大幅に低減。

S12571-050C (improved product)



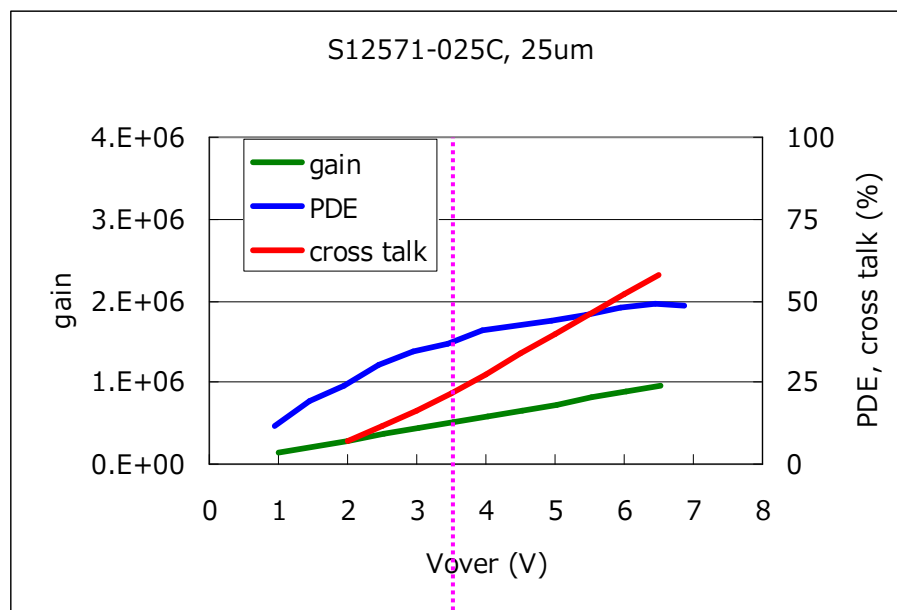
[Figure 8] Afterpulses vs. overvoltage (typical example)



HPK製MPPC®の特長：高検出効率

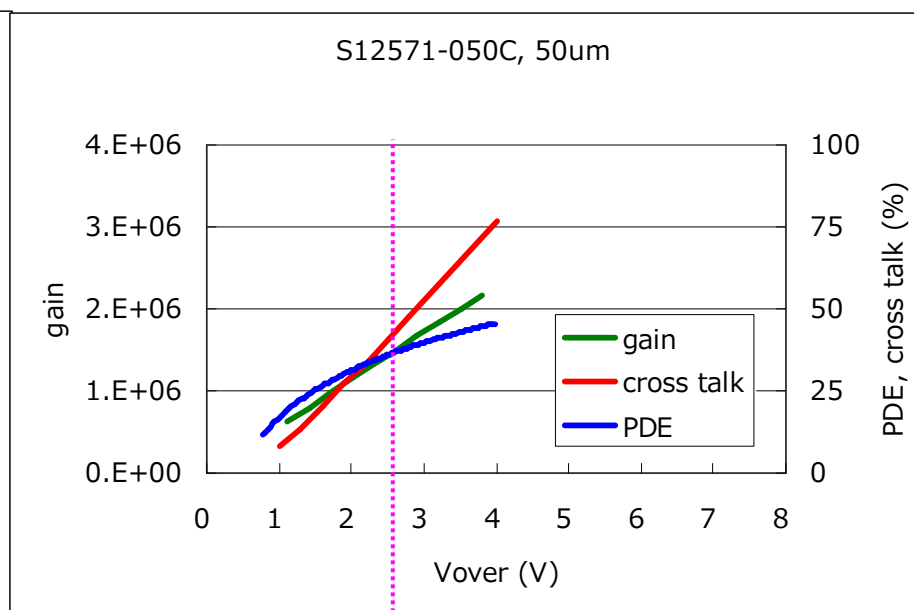
動作電圧(Vop)と検出効率(PDE)、ゲイン、クロストークの関係

25μm pitch

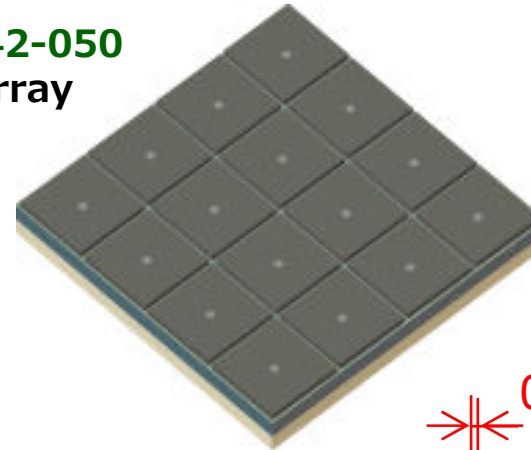


推奨Vop
VBR+3.5V

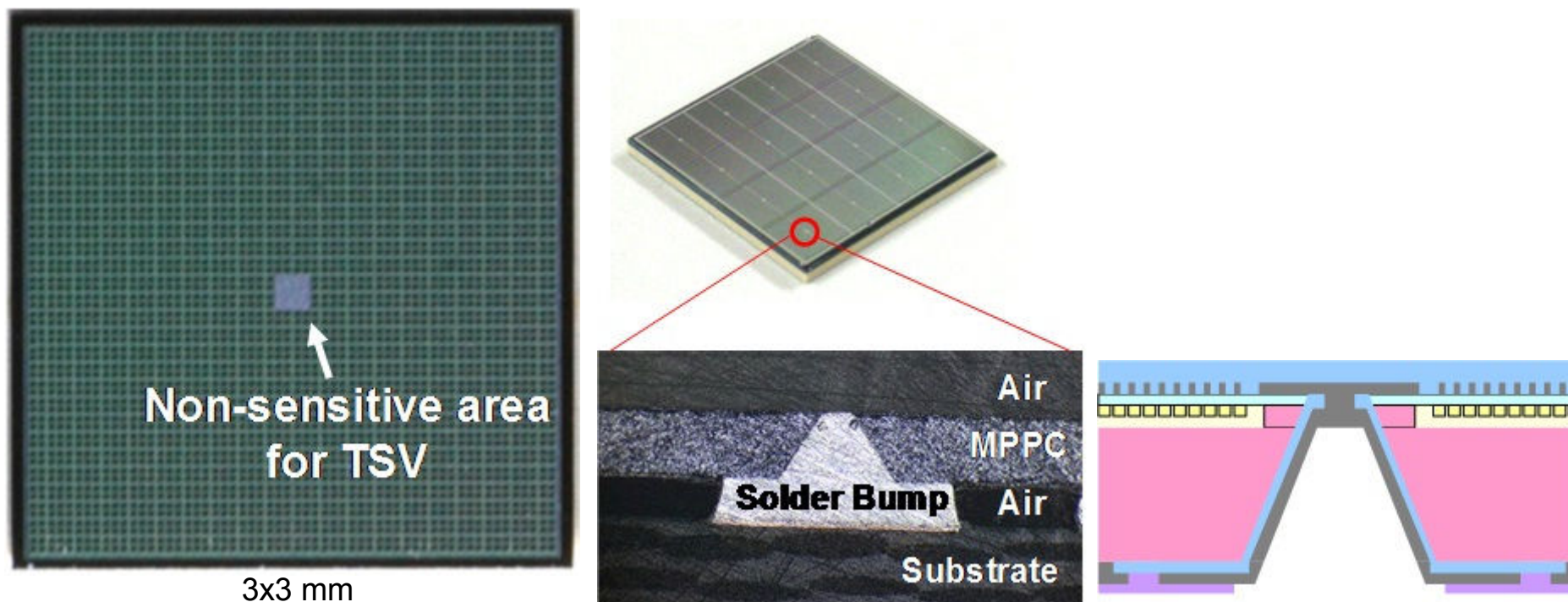
50μm pitch



推奨Vop
VBR+2.6V



HPK製MPPC®の特長 : TSV MPPC アレイ

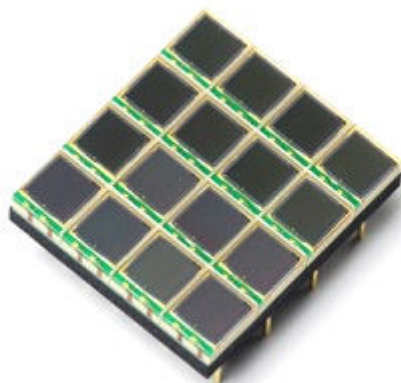


- The TSV process requires small non-sensitive area ($200 \mu\text{m sq.}$).
- This area is corresponding to 0.44% of total active area, and it is hardly affected to the PDE (photon detection efficiency).

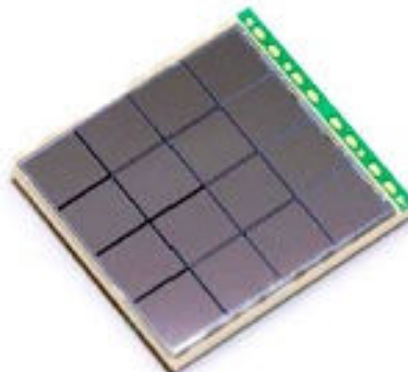
■ 3x3mm-4x4ch Array

Wire Bonding

Discrete Array



Monolithic Array



3-side buttable
Tiling



Through Via

Discrete Array



4-side buttable
Tiling



MPPCの応用例

PET

医療PET

TOF-PET

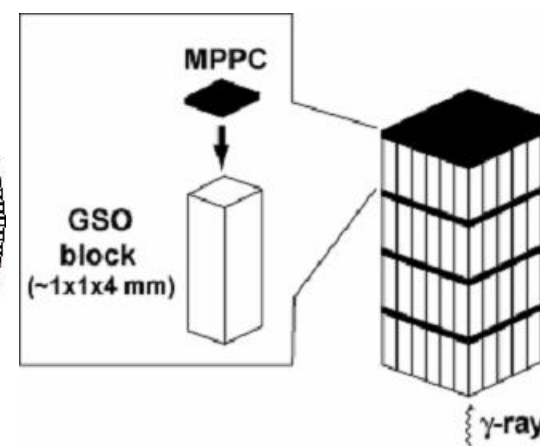
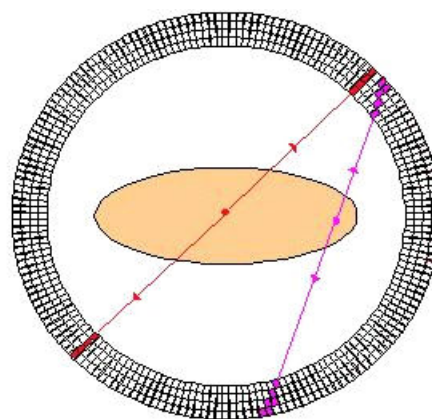
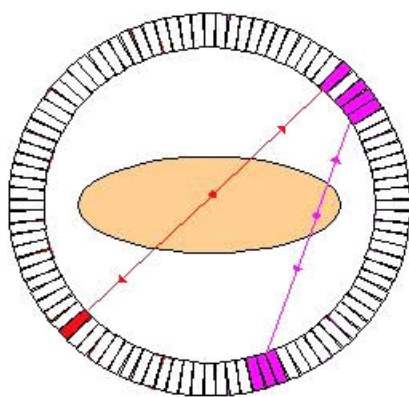
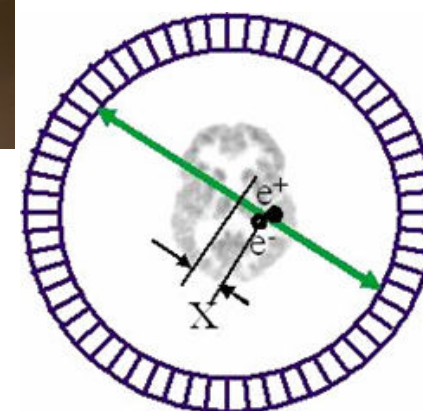
PET/MR

DOI-PET

高時間分解能特性

高磁場耐性

小型パッケージング/積層構造



MPPCの応用例 学術研究用途

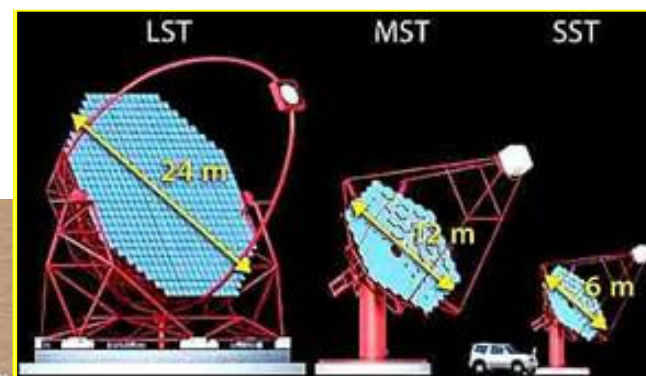
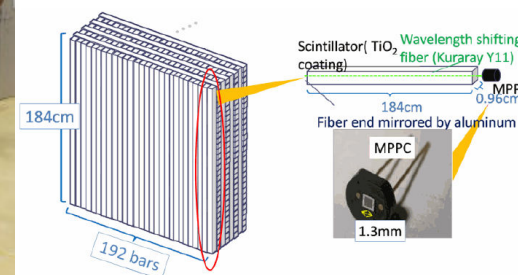
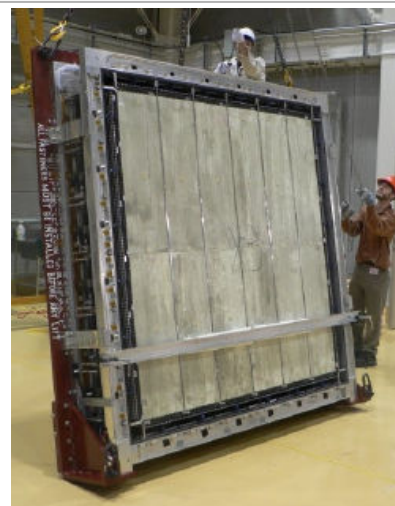
学術

高エネルギー物理学実験

- カロリメーター
- 粒子識別

天体物理学実験

- 大気チェレンコフ望遠鏡アレイ
高エネルギーガンマ線観測



MPPCの応用例 放射線検出モジュール



MPPCの応用例

放射線検出モジュールの組み込み装置



C12137



x 1



モニタリングポスト



C12137-01

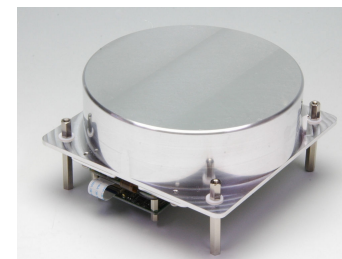


x 4



食品・環境・土壌中の
放射性セシウム測定装置

100cc 10Bq/kg 10min



C12137-10



x 6

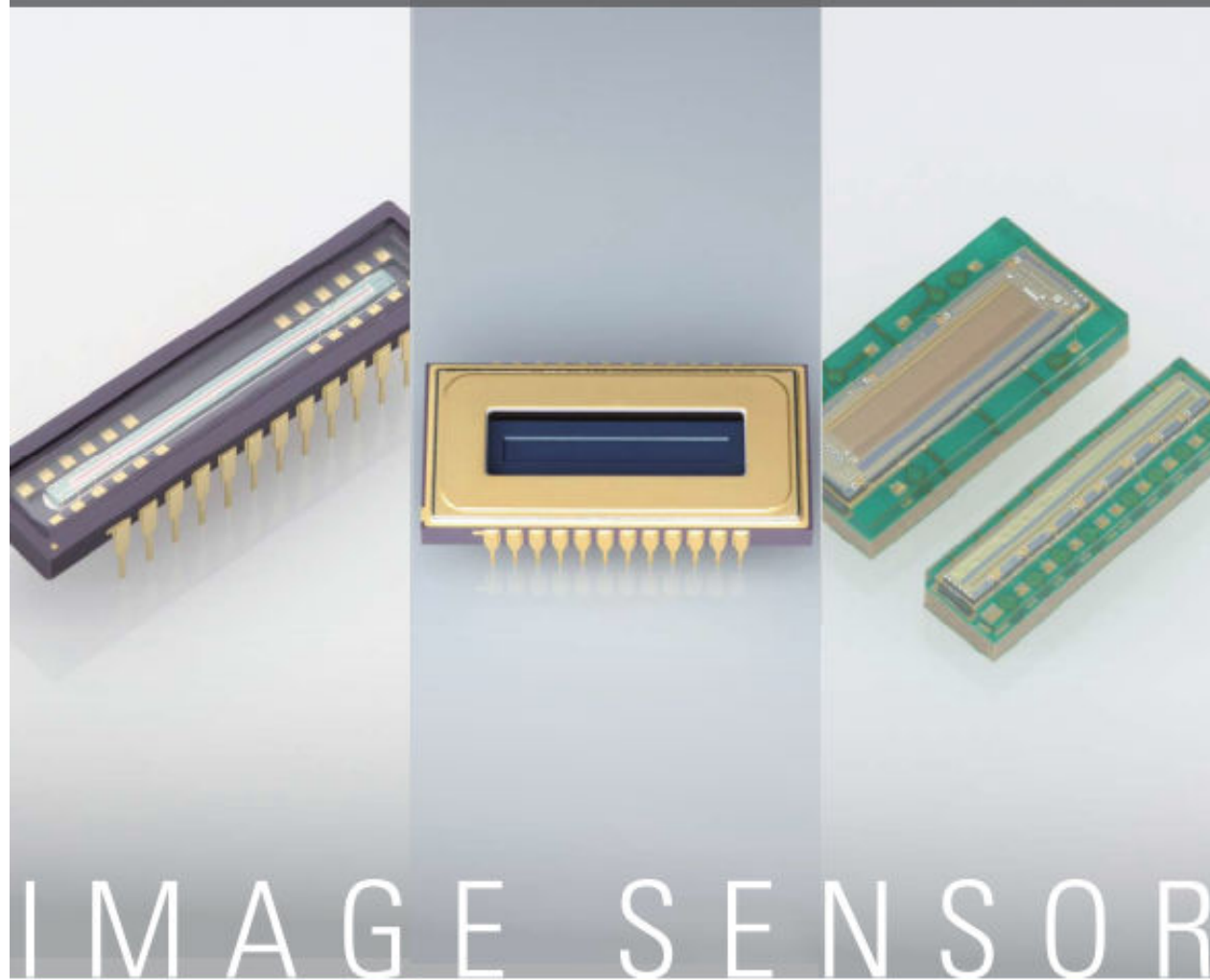


放射線検査装置
(米袋30kgを連続検査)

30Kg 10Bq/kg 5s

科学計測用 イメージセンサ

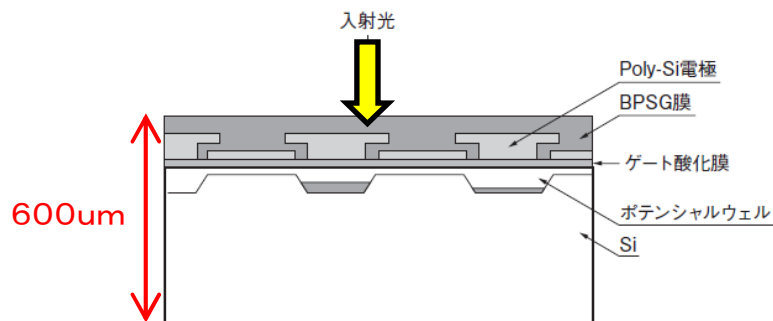
幅広い波長範囲に対応した計測用イメージセンサ



裏面入射型CCD (UV高感度)

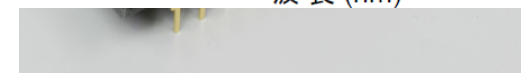
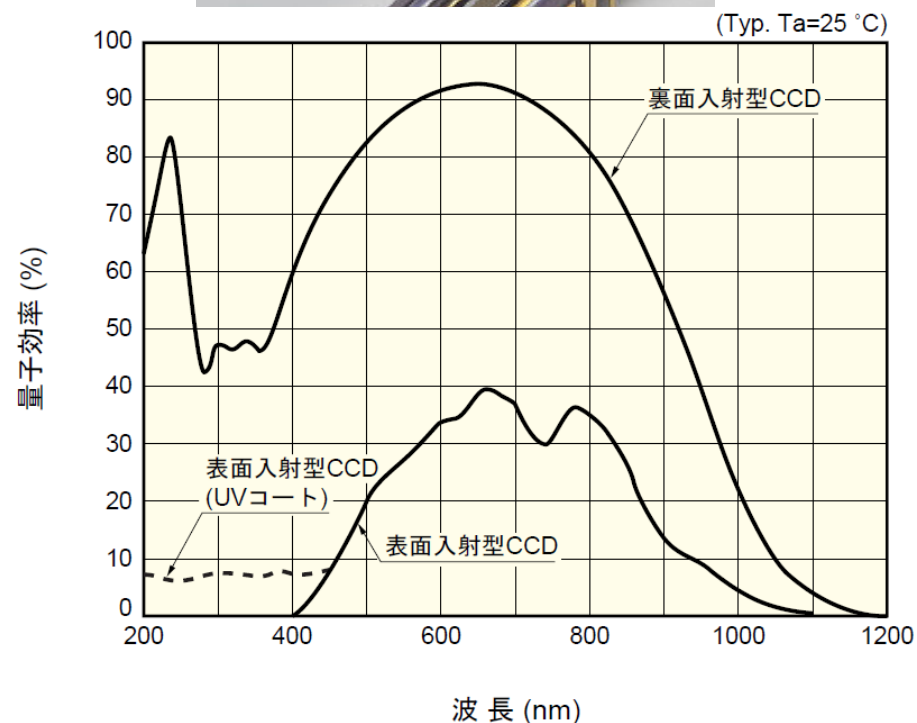
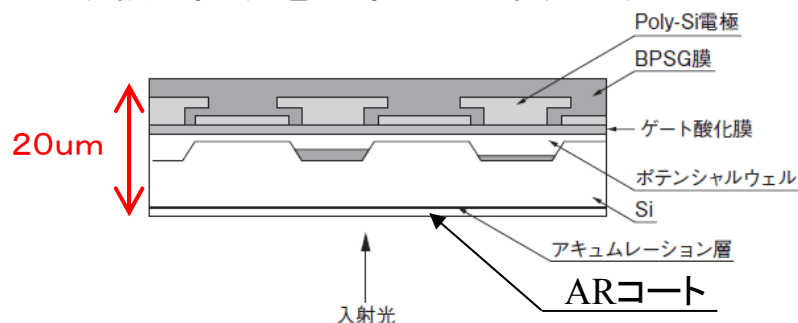
表面入射型CCD (Front-Illuminated CCD)

入射光がCCD電極(ポリシリコン)で遮られる
UV、軟X線、電子線の感度が無い

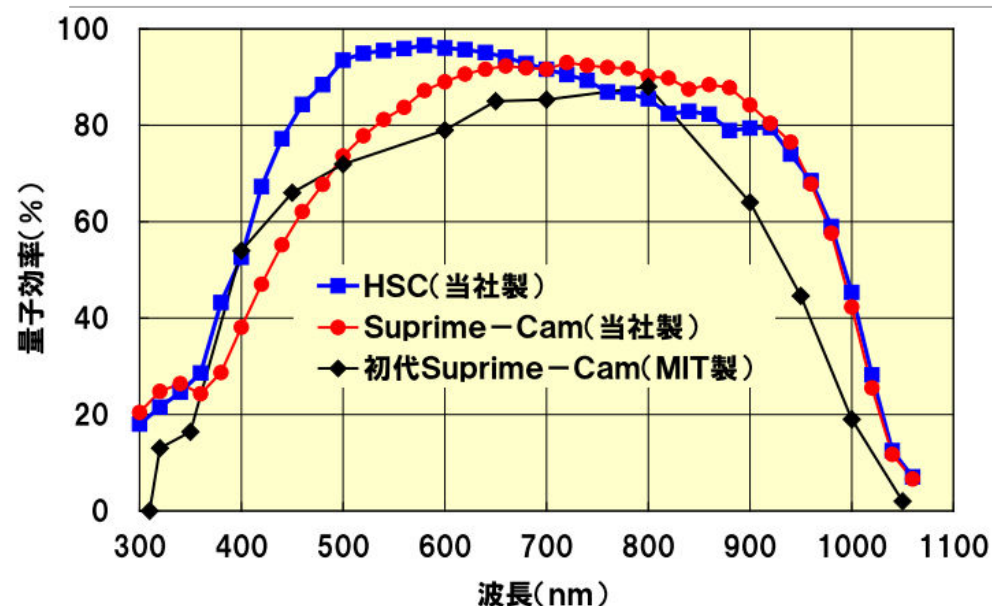


裏面入射型CCD (Back-thinned CCD)

光を遮るものが無い裏面から入射
UV、軟X線、電子線に感度がある

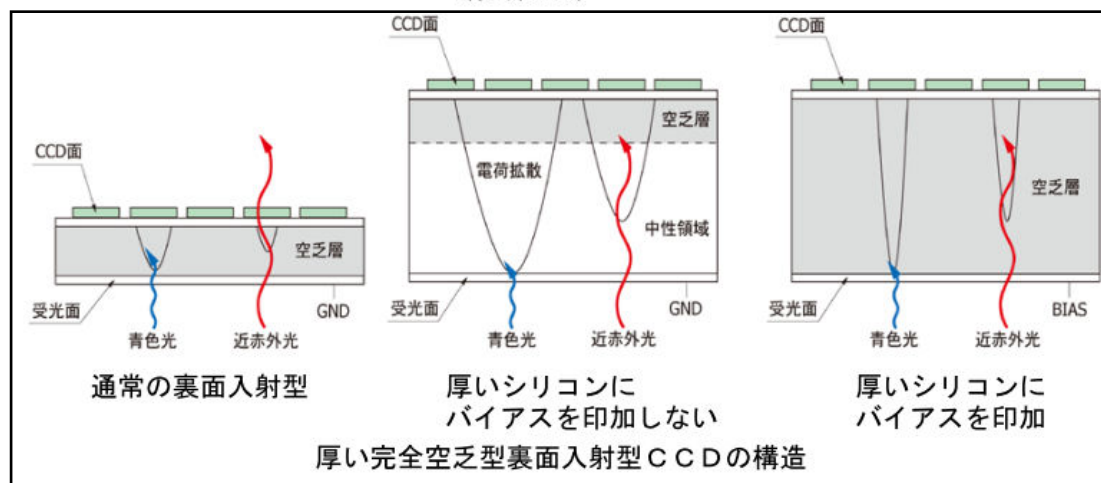
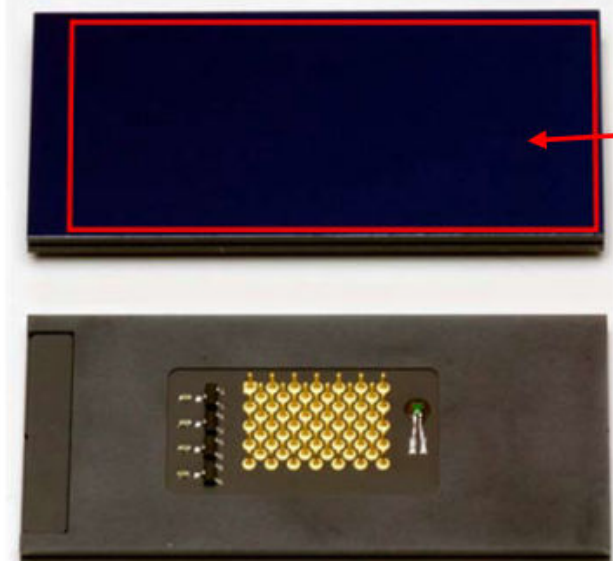


すばる HSC用CCD (可視～近赤外高感度)



裏面入射面

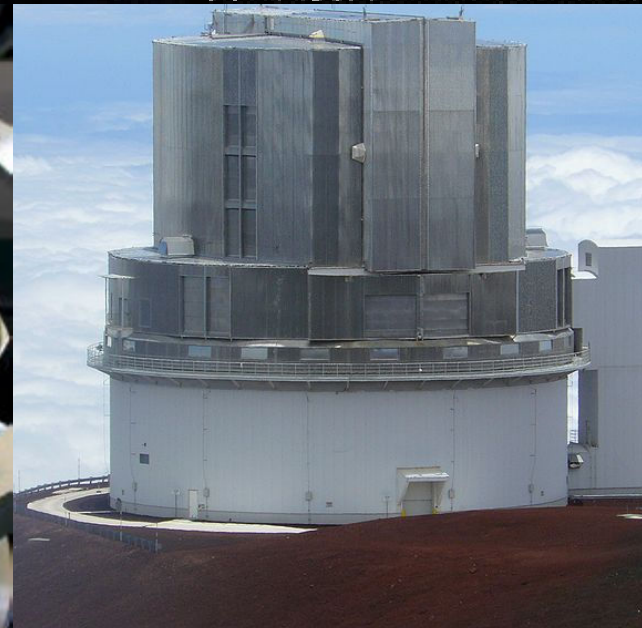
反対側の
電極面



- 赤外高感度
- 4辺バタブル
- 冷却 -100℃
- 低ノイズ $4e^- \text{ rms@133kHz}$



国立天文台HSCプロジェクト



フラットパネルセンサ

FLAT PANEL SENSORS



フラットパネルセンサの構造 (シンチレータ)

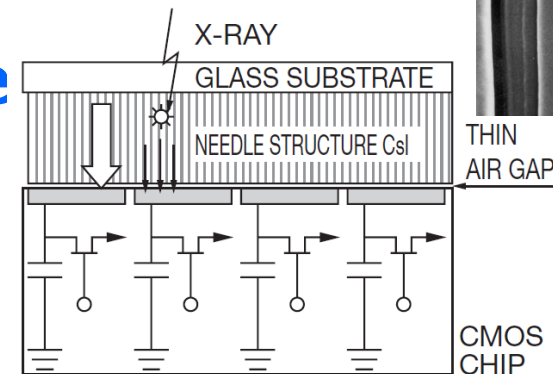
CsIシンチレータの特徴

- Needle structure for high resolution
- Deposition applicable

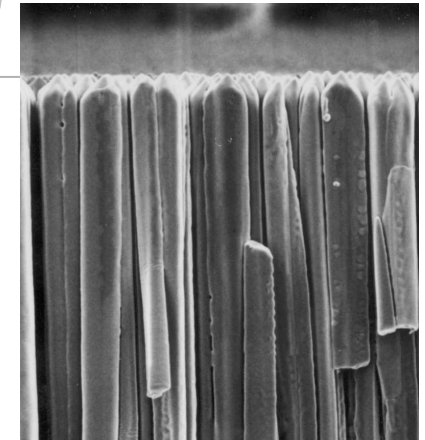
Flipped Scintillator Plate Type

ガラス基板にCsIを蒸着し、
その後CMOSチップ上にマウント

- Cost effective



Flipped scintillator plate is pressed
against CMOS photodiode array

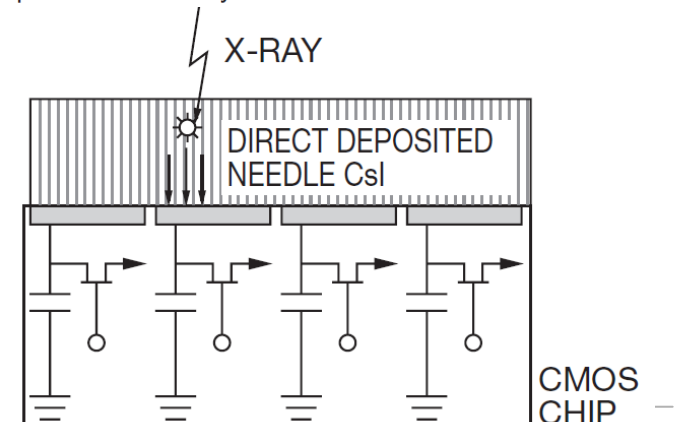


Direct Deposition Type

CsIをCMOS上に直接蒸着

CsIとCMOS間にエアギャップがないため、
界面での光の反射、減衰を低減でき高い解像度を維持

- High sensitivity
- High resolution

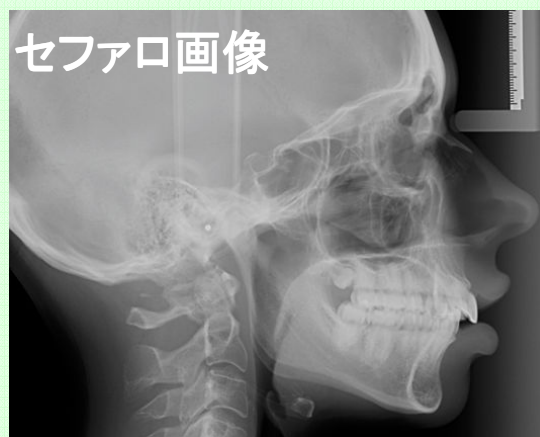
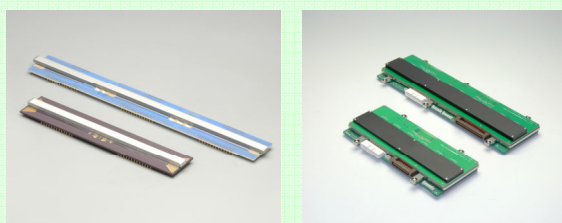


歯科用フラットパネルセンサ

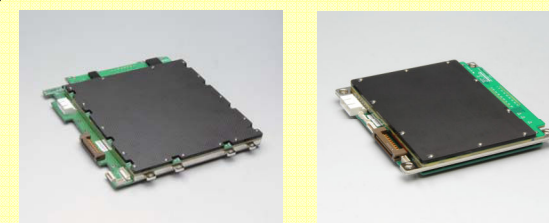
Intra-Oral



Pan/Ceph



CT



www.hamamatsu.com