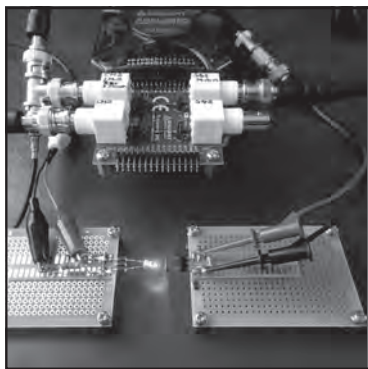


# 連載



エレクトロニクス自由研究

## 実験ではじめる 光と光センサの世界

第7回 極微弱光センサ…光子数カウンタMPPC

竹下 照雄 Teruo Takeshita

連載のここまでは、比較的強い光現象を捉える半導体光センサの代表としてフォトダイオード(PD)を取り上げました。今回は、単一光子を検出することができる極微弱光計測用半導体光センサMPPC(Multi-Pixel Photon Counter)を取りあげます。MPPCは、近年登場した光子計測デバイスです。写真1に浜松ホトニクス社のMPPCの一例を示します。

### 極微弱光が測れる光子数カウンタ MPPCのあらまし

● これからクルマ等でも期待されている光センサ  
表1にダイオード構造の光センサをまとめました。  
MPPCという極微弱光計測用半導体光センサは、あまりなじみがありません。なぜならMPPCは、医療機器としてのPET(Positron Emission Tomography, 陽電子放出断層撮影法)や学術研究での高エネルギー実験<sup>(2)</sup>で素粒子検出などに使われており、私たちの普段の生活では触れる機会がないためです。  
しかし、近年は車の自動運転や安全機能のために搭載されようとしています。ToF(Time of Flight)技術を用いたLiDAR(Light Detection and Ranging)により、前方や周囲の障害物を検知するための光センサとしてです。  
MPPCは、これからの未来を切り開く光センサと言えます。産業界での活躍も期待されています(図1)。

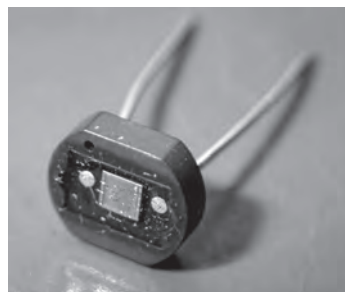


写真1 極微弱光が測れる半導体センサMPPC:S13360-1350CS(浜松ホトニクス)  
6.5×5.0 mm  
購入元:秋月電子通商 ¥7,000

● フォトダイオードPDが進化した光子1粒まで測れるガイガーモードAPD  
MPPCも基本的にPN接合ダイオードです。  
ダイオード構造による光センサの基本は、フォトダイオード(Photodiode, PD)です。連載第2回、第3回(5月、6月号)で詳しく取りあげました。線形動作を行い、増倍機能をもちません。  
PN接合部に大きな逆バイアス電圧を加えることで増倍機能をもたせたPDが、アバランシェ・フォトダイオードAPD(Avalanche Photodiode)です。増倍原理は、アバランシェ増倍と呼ばれます。光入射により励起されたキャリア(電子&正孔)は、空乏層の電界で加速されて結晶格子に衝突し、あらたな電子-正孔対を生成します。これが繰り返して連鎖的に起こることで電子増倍が行われます(図2)。  
APDのアバランシェ増倍には出力電流が入射光量に比例する線形増倍と、ガイガーモードと呼ぶ、これ

表1 ダイオード構造の光センサ

| 光センサ |                  | 動作領域    | 画素数 | 増倍度                                 | 単一光子検出能力 | 印加電圧                                          | 時間応答速度 |
|------|------------------|---------|-----|-------------------------------------|----------|-----------------------------------------------|--------|
| PD   | フォトダイオード         | 線形      | 1   | 1                                   | なし       | 0バイアスから数十Vと低い                                 | 低速~高速  |
| APD  | アバランシェ・フォトダイオード  |         |     | 数十から最大で1000倍程度                      |          | 100~500Vくらい素子の降伏電圧 <sup>(注)</sup> より低い電圧領域で動作 | 高速     |
| SPAD | 単一光子アバランシェ・ダイオード | ガイガーモード | 多数  | 10 <sup>5</sup> ~10 <sup>6</sup> 程度 | あり       | 30~60Vくらい素子の降伏電圧 <sup>(注)</sup> より高い電圧領域で動作   | 超高速    |
| MPPC | マルチピクセル・フトン・カウンタ |         |     |                                     |          |                                               |        |

(注) MPPCの降伏電圧は数十VとAPDの降伏電圧より低い

- 第1回 光と光センサの基礎知識(2022年4月号)
- 第2回 光を電流に変える…フォトダイオードの基本動作(2022年5月号)
- 第3回 フォトダイオードをさらに探る(2022年6月号)