

**AFBR-S4XX****Broadcom SiPM**

## よくある質問

## SiPM とは何ですか？

関連アプリケーションノート：[AFBR-S4XX - シリコン光電子増倍管の概要](#)

シリコン光電子増倍管 (SiPM) は、光 (光子) を検出して電流信号に変換できる半導体素子です。その基本的な構成要素は単一光子アバランシェダイオード (SPAD) ですが、これはガイガーモードアバランシェフォトダイオード (GM-APD) とも呼ばれます。GM-APD は、ダイオードの活性 (高電界) 領域で光子が吸収されたときにガイガー放電を起こすのに十分な高さの逆電圧でバイアスがかけられます。ガイガー降伏が発生する最低電圧は、降伏電圧 ( $V_{BD}$ ) と呼ばれます。ガイガー放電によって高い増倍率 (利得) と明確な電荷出力が確保され、優れた単一光子分解能がもたらされます。放電電流 (および自己維持電流) を止めるには、クエンチングが必要です。アナログ SiPM では、これは従来、SPAD に直列にクエンチング抵抗 ( $R_q$ ) を配置することで実現されます。一旦 SPAD で電子なだれが発生すると、 $R_q$  を通した電圧降下により、ダイオードを通る電圧が事実上その降伏電圧未満まで低下します。その後、SPAD は  $R_q$  で再充電され、再び光子を検出できる状態になります。

専用の  $R_q$  を持つ SPAD は、多くの場合、マイクロセルと呼ばれます。SiPM は、数十個から数万個のマイクロセルが並列に接続されたアレイです。SiPM のマイクロセル密度は SPAD ピッチに依存しますが、そのピッチは通常 10~100 $\mu\text{m}$  です。結果として得られる SPAD のサイズ (部分的) により、光子検出効率 (PDE) や利得など、SiPM の多くの電気光学性能パラメーターが決定されます。

## SiPM は何に適しているのでしょうか？

SiPM は、近紫外線から可視光、近赤外線電磁スペクトルにわたる光 (光子) を検出するのに最適です。

X 線やガンマ線のようなより高エネルギーの光子は、シンチレーターを使用して検出できます。シンチレーターは、高エネルギーの光子を、入射する X 線またはガンマ線のエネルギーに比例した数の紫外線または可視光子に変換します。

SiPM は、以下のような分野の多種多様な用途に応用されています。

- 医療画像処理 (PET、ガンマカメラ)
- 放射線検出器と線量計
- 顕微鏡検査 (共焦点レーザー走査型顕微鏡検査、二光子顕微鏡検査、蛍光顕微鏡検査など)
- 天体物理学
- 高エネルギー物理学 (HEP)
- X 線画像処理
- 生物物理学 (蛍光計測、血球計算など)
- 距離計測 (LiDAR)

SiPM がお客様の用途に適した検出器かどうか不明な場合は、弊社の応用チーム ([sipm@broadcom.com](mailto:sipm@broadcom.com)) までお問い合わせください。

## SiPM はどの波長に感度がありますか？

Broadcom® SiPM の感度は 250～980 nm の範囲です。そのため、SiPM は、近紫外線から可視光、近赤外線電磁スペクトルにわたる光（光子）を検出するのに最適です。

Broadcom の SiPM ポートフォリオは、紫外線／青色／緑色（NUV-MT SiPM）光および黄色／赤色／赤外（NIR SiPM）光の検出専用ソリューションにご利用いただけます。

- Broadcom の NUV-MT SiPM の PDE スペクトルは、250～900 nm の範囲に及びます。
- Broadcom の NIR SiPM の PDE スペクトルは 500～980 nm の範囲に及びます。

ピーク感度とスペクトル感度のほかに、ノイズ特性やダイナミックレンジといった他の重要パラメーターにおいても、この両デバイスは異なります。

どのデバイスがお客様の用途に最適か不明な場合は、弊社の SiPM 応用チーム ([sipm@broadcom.com](mailto:sipm@broadcom.com)) までお問い合わせください。

## SiPM は X 線とガンマ線を検出できますか？

SiPM は X 線を直接検出できますが、効率が非常に低く、信号発生のおよそ大半は散乱に基づきます。ただし、SiPM は大半のシンチレーターと併用できるため、X 線やガンマ線を高効率で検出するのに使用できます。

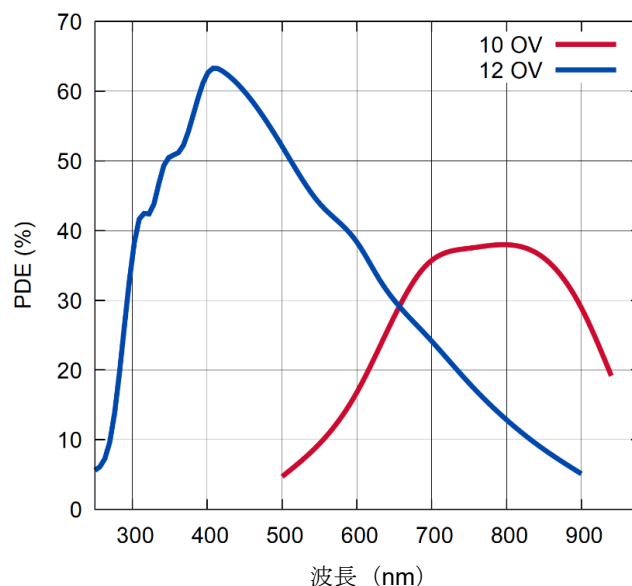
弊社は、X 線およびガンマ線検出の分野で幅広い経験を持ち、お客様の用途固有のニーズに対応できます。

## SiPM が私の用途で使えるかどうか分かりません。支援をお願いできますか？

もちろん、弊社の応用チームは、さまざまな用途で SiPM を導入した豊富な経験を持ち、お客様と緊密に連携しています。弊社は、お客様のご要望に喜んで対応いたします。SiPM 応用チームへのご連絡は、[sipm@broadcom.com](mailto:sipm@broadcom.com) までお願いいたします。

## SiPM は簡単に損傷したり破損したりするのでしょうか？

SiPM は機械的にも光学的にも非常に堅牢な素子です。推奨電流限度を守れば、SiPM はほぼ破損することはありません。偶発的な照射、昼光照射、またはバイアス極性の誤りは、通常は重大な影響を及ぼさず、これらにより SiPM が損傷することはありません。さらに、SiPM は明るい光に暴露された直後にも使用でき、回復時間は必要ありません。



## SiPM の大きさはどのくらいですか？

関連製品の概要：

- [AFBR-S4N シリーズ - Broadcom 高感度 NUV シリコン光電子増倍管](#)
- [AFBR-S4 SiPM ファミリー - シリコン光電子増倍管](#)

Broadcom は、技術に応じて、さまざまなフォームファクターとチャネル領域の SiPM を用意しています。

### NUV-MT SiPM：

NUV-MT SiPM には、以下の 3 種類の有効面積のものがあります。

- 2×2 mm<sup>2</sup> (AFBR-S4N22P014M)
- 4×4 mm<sup>2</sup> (AFBR-S4N44P014M)
- 6×6 mm<sup>2</sup> (AFBR-S4N66P014M)

4×4 mm<sup>2</sup> の SiPM は、以下の配列の SiPM アレイとしても利用できます。

- 2×2 (AFBR-S4N44P044M)
- 4×4 (AFBR-S4N44P164M)

6×6 mm<sup>2</sup> の SiPM は、2×1 アレイ構成 (AFBR-S4N66P024M) で利用できます。

Broadcom NUV-MT SiPM はすべて、40 μm ピッチの SPAD 技術を使用しており、効率と直線性の最適なバランスが保たれています。

### NIR SiPM：

Broadcom の高感度 NIR SiPM (AFBR-S4P11P012R) は、2×1 デュアルチャネルパッケージ形式で利用できます。チャネルは、有効面積が 1 チャネルあたり 1×0.5 mm<sup>2</sup> のモノリシックアレイに集積されています。このパッケージ設計により、2 つの個別陰極をお客様の PCB 上で接続し、1×1 mm<sup>2</sup> の SiPM を実現できます。

Broadcom の高速 NIR 技術は、dTOF およびライダー用途向けに設計されており、以下の構成で利用可能です。

- チャネル面積が 1.1×0.233 mm<sup>2</sup> の 1×24 モノリシックラインアレイ (AFBR-S4P0124P3TA)
- チャネル面積 0.5×1.0 mm<sup>2</sup> の 1×2 モノリシックラインアレイ (AFBR-S4P0102L3R)

Broadcom NIR SiPM は、ピッチが 12.5 μm の超高密度の SPAD を備え、優れたダイナミックレンジを実現します。

## 降伏電圧と過電圧とはどういう意味ですか？

関連アプリケーションノート：

- [AFBR-S4XX - シリコン光電子増倍管の概要](#)
- [AFBR-S4XX - Broadcom SiPM の利用](#)

SiPM は、並列回路の単一光子アバランシェダイオード (SPAD) のアレイです。

**降伏電圧**とは、SPAD にガイガー降伏を引き起こすのに必要な最低電圧を指します。つまり、SiPM を適切に動作させるために SiPM に印加しなければならない最低電圧のことです。

**過電圧**とは、降伏電圧を超える過剰な電圧を指します。SiPM パラメーターのほとんどは、印加される過電圧の関数です。

SiPM に供給される総バイアス電圧は、 $V_{\text{Bias}} = V_{\text{breakdown}} + V_{\text{OV}}$  です。

## SiPM に印加できる最大電圧はいくつですか？

SiPM に印加できる最大電圧は、デバイスによって異なります。

- Broadcom の NUV-MT SiPM の場合、最大過電圧は 16 V で、25°Cでの最大バイアス電圧は 48.5 V になります。
- Broadcom の NIR SiPM は、最大 12 V の過電圧で動作可能です。

詳細については、ご使用の素子のデータシートをご参照ください。

## どのバイアス極性を推奨しますか？

関連アプリケーションノート：[AFBR-S4XX - Broadcom SiPM の利用](#)

接続方式とそれに関連する SiPM バイアスの使用極性によって、信号が陽極または陰極から得られます。ただし、Broadcom は、読み出し時に以下の決まりに従うことを推奨しています。

- NUV-MT SiPM など、AFBR-S4N および AFBR-S4K のシリアル番号を持つ Broadcom SiPM (p-on-n 基板) は、信号抽出に陽極を使用するため、陰極を介した正バイアスを優先する。
- AFBR-S4P のシリアル番号を持つ Broadcom SiPM (n-on-p 基板)、つまり NIR SiPM は、信号抽出に陰極を使用し、陽極を介した負バイアスを優先する。

## 光子検出効率 (PDE) とは何ですか？

関連アプリケーションノート：[AFBR-S4XX - シリコン光電子増倍管の概要](#)

光子検出効率 (PDE) とは、感度を示す SiPM パラメーターであり、検出された (一次) 光電子と入射光子数の比を指します。

SiPM の PDE は以下のように得られます。

$$PDE = QE \times FF \times \epsilon$$

QE は量子効率、FF は SPAD の有効総面積と SiPM の総面積の比によって与えられる幾何学的充填率、 $\epsilon$  は電子なだれを引き起こす確率です。

Broadcom SiPM は、以下のとおりクラス最高の PDE を保証します。

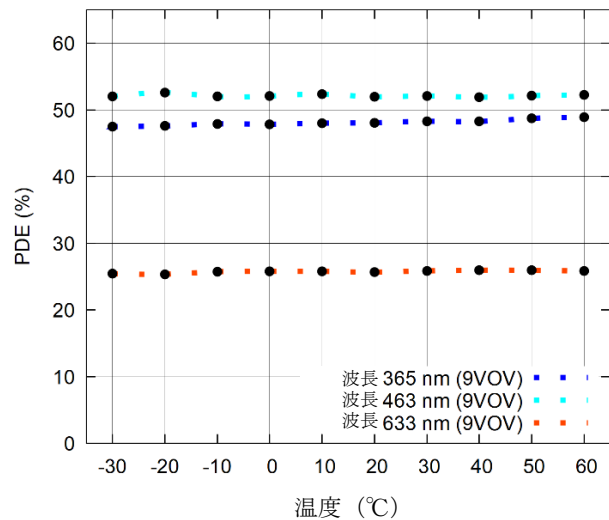
- NUV-MT SiPM の場合、420 nm で 63%
- 高感度 NIR SiPM の場合、750 nm で 37%

## PDE は温度に応じて変化しますか？

はい。SiPM の温度は、PDE に測定可能な程度の影響を与えます。正確な温度の動きは、基盤となる技術によって変わります。

PDE の温度係数は波長と印加過電圧に依存し、波長が長いほど大きくなる傾向があります。PDE の NUV-MT 温度挙動に関する詳細は、Schmailzl et al. 2022 JINST 17 P12009 に記載されています。

右のプロットは、-30°C から 60°C の温度範囲において、9V の過電圧で 3 つの波長 (365 nm、463 nm、633 nm) の PDE を測定した結果を表しています。全体として、PDE の温度係数は小さな値であり、 $10^{-3}/^{\circ}\text{C}$  台です。



## SiPM の応答性はどのように計算しますか？

関連アプリケーションノート：

- [AFBR-S4XX - シリコン光電子増倍管の概要](#)
- [AFBR-S4NxxPyy4M - PMT ユーザーのための SiPM 特性](#)

光子検出効率 (PDE) は、通常 SiPM で使用される感度パラメーターであり、フォトダイオード、APD、PMT の QE と直接比較できます。

しかし、多くの場合、放射感度は、光検出器の感度のパラメーターとして提示されます。SiPM の放射感度 ( $S [A/W]$ ) は、PDE、利得、相関ノイズ成分 ( $P_{CT}$ : クロストーク確率、 $P_{AP}$ : アフターパルス確率) から、以下の式で計算できます。

$$S[A/W] = \frac{e\lambda}{hc} \cdot PDE(\lambda) \cdot Gain \cdot (1 + P_{CT} + P_{AP})$$

$e$  は電子電荷、 $\lambda$  は光の波長、 $h$  はプランク定数、 $c$  は真空中の光の速度です。

なお、利得のある光センサーと利得のない光センサー (フォトダイオード、APD、PMT、SiPM) の比較では、QE と PDE は、放射感度  $S$  よりも有用なパラメーターです。これは、利得とノイズのパラメーターが前記の式に含まれているためです。

たとえば、PDE が非常に悪いセンサーは、利得または相関ノイズが非常に高い場合、かなり大きな放射感度を示すことがあります。しかし、これでは許容できる S/N 比にはなりません。

センサーの利得は、フォトダイオードで 1、APD で数十から数百、SiPM と PMT で数百万です。

## SiPM におけるクロストークとは何ですか？

関連アプリケーションノート：[AFBR-S4XX - シリコン光電子増倍管の概要](#)

SiPM におけるクロストーク (CT) は、相関ノイズの一形態です。SPAD の電子なだれの過程では、光学光子が (再結合により) 放出されることがあります。これらの光子は、シリコンまたは SiPM パッケージの保護層を通過して伝搬し、隣接するセルをトリガーできます。その結果、パルスの振幅 (および電荷) は、追加でトリガーされた SPAD の寄与によって増大します。

## SiPM におけるアフターパルスとは何ですか？

関連アプリケーションノート：[AFBR-S4XX - シリコン光電子増倍管の概要](#)

SiPM におけるアフターパルス (AP) は、相関ノイズの一形態です。電子なだれの電荷担体はシリコン内に捕捉され、しばらくすると放出されます。SPAD はすでに (部分的に) 回復しているため、最初のパルスの次に 2 番目の遅延パルスを観測できます。

## SiPM の回復時間と充電時間はどれくらいですか？

関連アプリケーションノート：[AFBR-S4XX - シリコン光電子増倍管の概要](#)

SPAD の再充電は、 $e^{-t/\tau}$  に比例する指数関数的な挙動をとり、 $\tau$  は再充電時間で定数です。再充電時間経過後、信号は  $1/e=37\%$  に戻り、(およそ) 5 倍の再充電時間の経過後、信号はピーク振幅の 1% 未満に戻ります。

再充電時間は、SPAD のキャパシタンスとクエンチング抵抗の値によって決まります。より小型の SPAD は再充電時間がより短い傾向にあるため、速度能力がより高くなります。

- Broadcom NUV-MT SiPM の場合、 $\tau$  は 55 ns です。
- Broadcom NIR30 SiPM の場合、 $\tau$  は 15 ns です。

## Broadcom SiPM はどのように評価すればよいのでしょうか？

関連アプリケーションノート：[AFBR-S4E001 - AFBR-S4NxxPyy4M SiPM ファミリー用評価キット](#)

弊社の AFBR-S4E001 NUV SiPM 評価キットには、3 種類すべての有効面積 ( $2 \times 2 \text{ mm}^2$ 、 $4 \times 4 \text{ mm}^2$ 、 $6 \times 6 \text{ mm}^2$ ) の SiPM が含まれています。さらに、以下の 2 種類の読み出し用 PCB が同梱されています。

- SiPM パルスの直接アクセス用のアンプを備えていない直流読み出し装置
- 増幅されたエネルギーチャネルと位相補償されたタイミング出力を持つ増幅 PCB

弊社の NIR SiPM の評価をご希望の場合、または評価オプションに関する詳細情報が必要な場合は、応用チーム ([sipm@broadcom.com](mailto:sipm@broadcom.com)) までお問い合わせください。

## SiPM を操作するには何が必要ですか？

SiPM はテストも評価も簡単に行えます。

AFBR-S4E001 SiPM 評価キットは、増幅されたエネルギーと位相補償されたタイミング出力で構成されています。高いダイナミックレンジが要求され、明るい信号を使用する用途向けに、アンプや帯域幅の制限なしに SiPM を直接読み出すことができる直流読み出し PCB が同梱されています。

SiPM を評価キットでテストするために必要な機器は、電圧源（約 50 V）とオシロスコープだけです。増幅 PCB も使用したい場合は、アンプにバイアスをかけるためのデュアルソース電圧源（5 V）が必要です。

注記：ケーブルは評価キットには同梱されていないため、お客様にてご用意いただく必要があります。

## インターポージャーPCB に搭載した SiPM を購入できますか？

Broadcom は、インターポージャーPCB に実装した単体の SiPM を販売していません。Broadcom AFBR-S4E001 評価キットには、インターポージャー PCB に 3 個の SiPM を搭載したものが含まれており、これを専用のアンプまたは読み出し PCB と組み合わせて使用します。

評価キットで使用するインターポージャーPCB に追加の SiPM 搭載が必要な場合は、[sipm@broadcom.com](mailto:sipm@broadcom.com) までご連絡ください。

## SiPM 用のフットプリントを表示してもらえますか？

はい。弊社の応用チーム ([sipm@broadcom.com](mailto:sipm@broadcom.com)) までご連絡ください。

## SiPM パルスとはどのようなものですか？

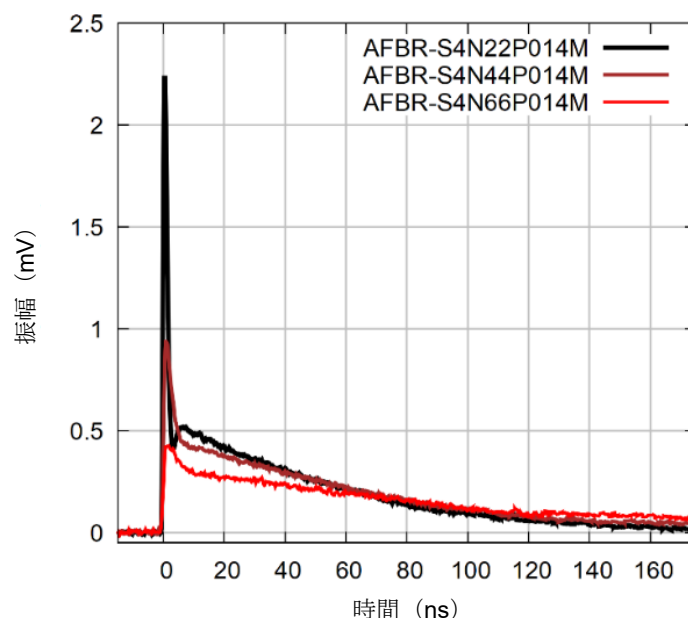
関連アプリケーションノート：[AFBR-S4NXX - SiPM の波形と帯域幅の考察](#)

SiPM 信号の立ち上がりエッジはガイガー放電によって引き起こされ、導通状態のダイオード抵抗によって決定されます。

信号の立ち下がりエッジは、SPAD（および寄生要素）の再充電によって決まり、2つの指数関数的減衰（速い成分と遅い成分）によって特徴づけられます。

次の図は、3種類の有効面積を持つ Broadcom の NUV-MT デバイス（アンプなし）を搭載した SiPM の単一光子に対する反応を示しています。

さらに、SiPM の出力で測定される実効パルスも検出される光パルスに依存しますが、この実効パルスは、SiPM のパルス形状と光パルスの畳み込みです。



## SiPM のダイナミックレンジはどのようなもののでしょうか？

関連アプリケーションノート：[AFBR-S4NxxPyy - SiPM のダイナミックレンジ](#)、[直線性](#)、[飽和](#)

SiPM のダイナミックレンジは、SiPM が検出できる光子の最大数に対応し、入射光パルスの特性に依存します。

- 短い光パルス（およそ再充電時定数未満）の場合、ダイナミックレンジは SPAD の数と PDE によって決まります。
- 再充電時間より長い光パルスと CW（連続波）光では、SPAD は再充電でき、追加の光子によってトリガーされるため、実質的にダイナミックレンジが広がります。

## SiPM の利得は温度に応じて変化しますか？

SiPM の利得は、降伏電圧の温度係数が考慮されるようにバイアス電圧が適応されている場合（つまり、SiPM が一定の過電圧で動作している場合）は、温度に応じて変化しません。

ただし、高温では、飽和作用により、信号振幅／充電パルス応答が低下する場合があります。この作用は、高温に適しており、NUV SiPM と比べて DCR がより高い NIR SiPM で顕著に見られることがあります。つまり高温（たとえば 80°C より上）では、無視できない数の SPAD がダークカウントによってトリガーされる場合があります。これは、信号ベースラインの直流電流オフセットによって観測されます。高温（そして多くの場合周囲光が明るい条件）に対処しなければならない多くの用途では、この直流ベースライン成分を抑制するために交流結合が使用されます。高温時に DCR が高まると、SPAD の占有によってダイナミックレンジが実質的に減少します。これらの SPAD は、光パルスが SiPM によって検出された場合、SiPM の信号全体に寄与することはできません。寄与できる SPAD の数が減ると、信号振幅／電荷出力が低下します。

Broadcom NIR SiPM は、12.5  $\mu\text{m}$  の SPAD ピッチを採用しており、優れたダイナミックレンジと、周囲光が明るい条件や高温条件下での飽和作用を最小限に抑えることを目標にしています。

## SiPM は周囲光の中で操作できますか？

SiPM は高感度の光子検出器であるため、明るい周囲光にさらされると飽和します。ただし、適切な電流制限をしていれば、SiPM を周囲光にさらしても損傷することはありません。

SiPM を明るい周囲光下で動作させる必要がある場合、狭帯域フィルターを使用して、信号波長と異なる波長の周囲光を抑制できます。

周囲光の中で SiPM を操作するには、以下のアドバイスに従ってください。

- 常に電流制限（数 mA。正確な値は SiPM の種類によって異なる）を適用する。
- 信号波長に合わせた狭帯域光学フィルターを使用して、広範囲の周囲光を抑制する。
- 交流結合（たとえば、高域フィルターやバラン変圧器を使用したもの）は、周囲光による頻繁な SiPM トリガーによって引き起こされる直流オフセットを抑制できます。

なお、周囲光が SiPM の SPAD を常にトリガーすることで、検出器の利用可能なダイナミックレンジが実質的に減少します。交流読み出し方式では、周囲光の明るさが増すにつれて飽和度が増すため、（信号出力が一定であれば）信号振幅が小さくなるように見える場合があります。この信号振幅の減少は利得の変化によるものではなく、むしろダイナミックレンジの減少によるものです（高温時の高い DCR による作用と同様、Q1.23）。



## SiPM のテストに際してアドバイスはありますか？

関連アプリケーションノート：

- [AFBR-S4XX - Broadcom SiPM の利用](#)
- [AFBR-S4NxxPyy4M - 単一光子の測定](#)
- [AFBR-S4NxxPyy4M - NUV-MT SiPM の性能相関性](#)

SiPM は使いやすく、テストも簡単にできます。以下は、初めて使用される方向けのアドバイスです。

- **電流制限**：SiPM に電流制限を必ず適用して、SiPM を周囲光にさらしたことで知らないうちに誤ったバイアス極性を適用したときに素子に大電流が流れるのを防止してください。まず始めに、電流制限として最大 3 mA を使用してください。
- **一貫性検査**：以下に示す適切な測定条件を確保することをおすすめします。
  - 確実なケーブル接続
  - 暗い条件
  - オシロスコープの正しい設定

詳細なテストを開始する前に、以下のような簡単な設定の整合性確認を行うことができます。

- SiPM はダイオードのように動作しますか（マルチメーターでダイオードをテスト）？
- SMU（使用されている場合）の SiPM 暗電流測定値は妥当ですか？
- ダークパルスはオシロスコープで観測できますか？
- **動作点**：SiPM は複雑なセンサーであり、その性能パラメーターのほとんどは印加される過電圧に依存します。お客様の用途における最適な動作点を特定するために、指定された過電圧範囲全体に対するバイアススイープを強くおすすめします。

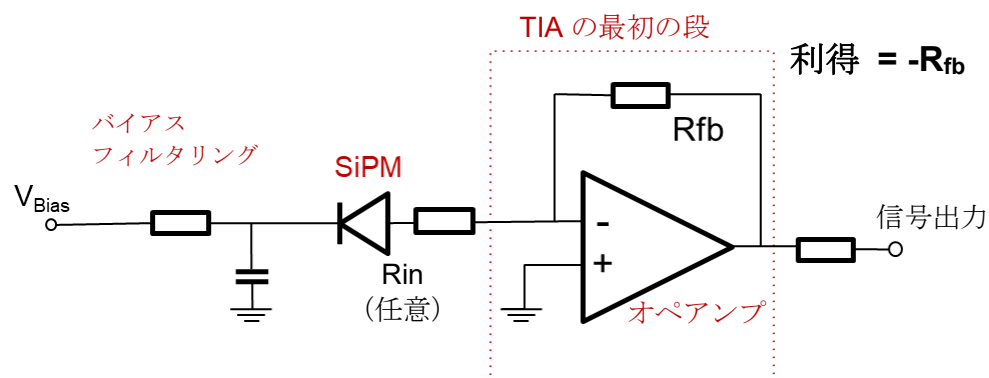
## SiPM の読み出しの最も一般的な方法は何ですか？

SiPM の読み出しの理想的方法は、信号の用途とその要件に強く依存します。SiPM は直流結合または交流結合が可能で、インピーダンス整合とフィルタリングが必要な場合があります。信号振幅はアンプを使用して大きくしたり、減衰器を使用して小さくしたりすることもできます。

ほとんどの用途では、SiPM 信号が増幅され、フィルター処理／整形されます。そのため、非常に一般的な読み出し設計は、電流を電圧に変換するトランスインピーダンスアンプ（TIA）で構成されています。TIA は、さまざまな種類のオペアンプを基に実現できます。オペアンプの選択は、最終的な用途における性能要件に基づいて行う必要があります。

SiPM 信号は TIA 入力の直流または交流に結合できますが、それぞれに利点と問題があります。

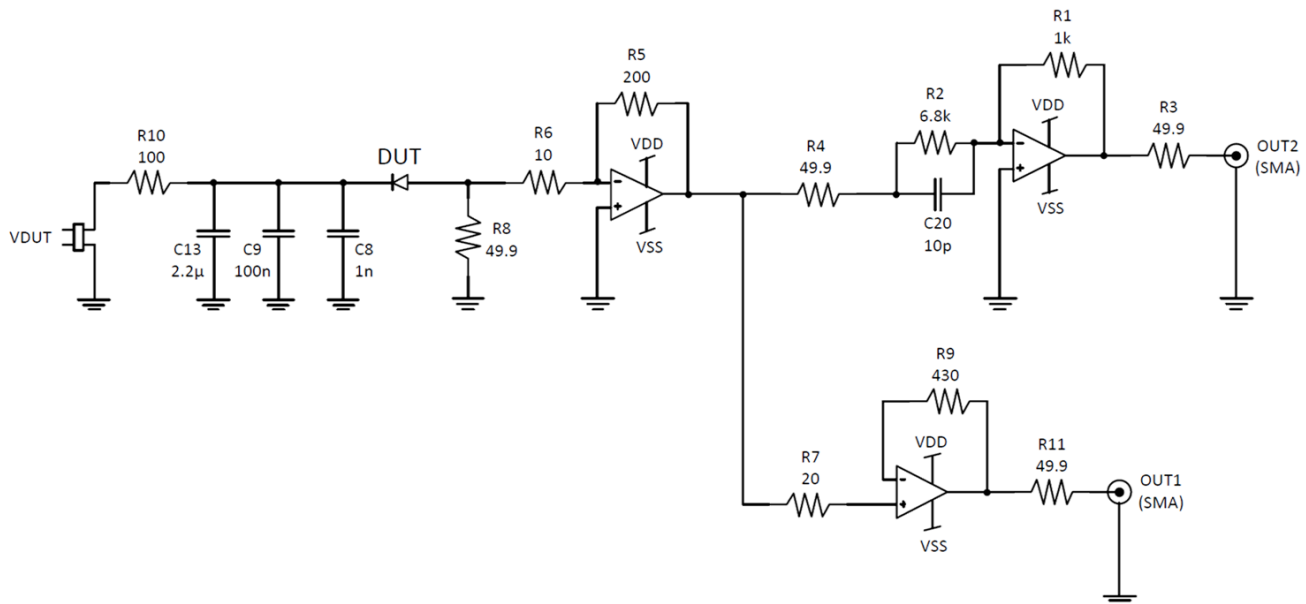
中程度の利得（数十 V/A）や低帯域幅しか必要とされない場合、以下のとおり、1 段トランスインピーダンスアンプを使用できます。



所定の帯域幅で必要な利得が 1 段 TIA で得られない場合、2 段目のアンプを実装できます。2 段目にも、TIA を使用できますが、電圧増幅器など他の選択肢を選ぶこともできます。



図 1 : 例 : Broadcom AFBR-S4E001 の簡易読み出し方式



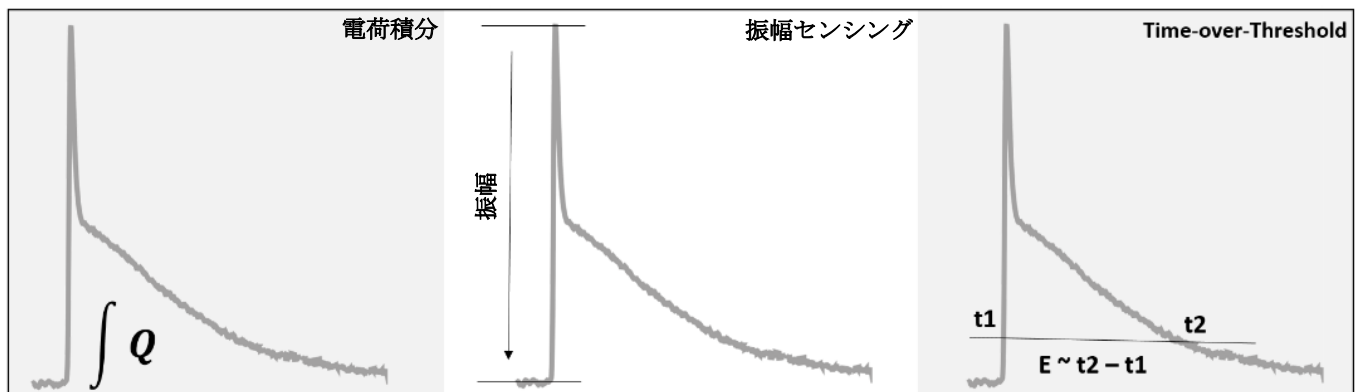
SiPM は、バイアスラインにバッファキャップを使用し、陰極を介してバイアスをかけられます。SiPM 信号はまず電流分割器 (R6 と R8) に供給され、これにより TIA の最初の段の利得が実質的に減少します。TIA 利得 200 (帰還抵抗 R5 で与えられる) と電流分割器により、最初の段の利得は 82 V/A となります。事前に増幅された電圧信号は、その後 2 つのチャンネルに分割されます。「エネルギー」信号 (OUT1 経由のフル直流信号) はボルテージフォロワー (単位利得) に供給され、「タイミング」は 2 段目 (OUT2 で位相補償) に供給されます。

両出力は、50Ω にインピーダンス整合されています。

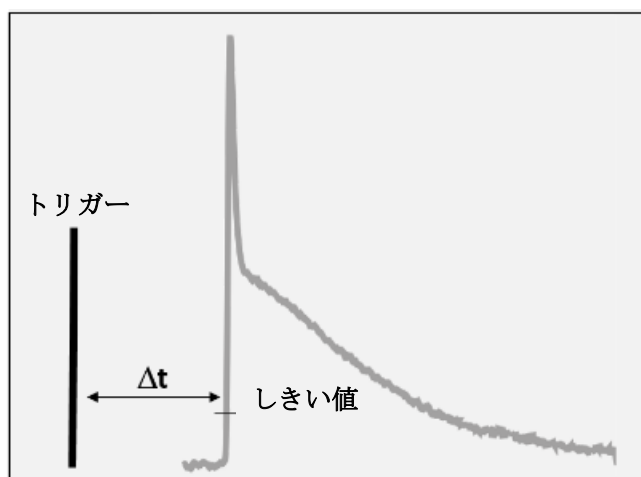
## SiPM 信号はどのようにデジタル化しますか？

SiPM 電流信号は、通常、以下のいずれかによってデジタル化されます。

- 電荷積分または振幅センシング
- エネルギーを評価する必要がある場合は、Time-over-Threshold (ToT) 測定



タイミング測定では、信号が事前に定義された（たとえば、トリガーまたは第 2 の検出器に対する）しきい値を超えるとき典型的な時間が使用されます。



## Broadcom SiPM（アレイ）のフィルファクターはどのようなものですか？

有効面積内のフィルファクターは PDE に含まれます。

SiPM アレイの実現可能なフィルファクター（つまり SiPM チャンネルの有効面積と全対象面積の比率）は、使用する製品によって異なります。一般に、単一チャンネルデバイスを考慮した場合、有効面積が大きい SiPM の方がフィルファクターも高くなります。ただし、フィルファクターは、Broadcom の SiPM アレイを使用することで高めることができます。Broadcom の 16 チャンネル NUV-MT アレイ（AFBR-S4N44P164M）を使用すれば、最高のフィルファクターを実現できます。

次の表に、Broadcom NUV-MT SiPM 製品のデバイスフィルファクターの概要を示します。

	AFBR-S4N44P014M	AFBR-S4N44P044M	AFBR-S4N44P164M	AFBR-S4N66P014M	AFBR-S4N44P024M	AFBR-S4N22P014M
SiPM の有効面積 [mm <sup>2</sup> ]	3.72 x 3.62	3.72 x 3.62	3.72 x 3.62	6.00 x 6.00	6.00 x 6.00	2.00 x 2.00
チャンネル数	1	4	16	1	2	1
デバイスあたりの有効面積	13.47	53.88	215.52	36	72	4
縦寸法 [mm]	4.31	8.26	16	6.71	6.54	2.48
横寸法 [mm]	4.18	8.26	16	6.48	13.54	2.71
パッケージ外形寸法 [mm <sup>2</sup> ]	18.02	68.23	256	43.48	88.55	6.72
フィルファクター [%]	<b>74.77</b>	<b>78.97</b>	<b>84.19</b>	<b>82.80</b>	<b>81.31</b>	<b>59.5</b>

\*小数点第 2 位に丸めた値

Broadcom の NIR SiPM アレイは、NUV-MT と異なり、モノリシックアレイを基盤としており、チャンネルが単一のシリコンダイに実装されています。これにより、単一アレイ（パッケージなし）のフィルファクターは 100% 近くになります。

## Broadcom SiPM の購入方法を教えてください。

以下のベンダーから Broadcom SiPM を直接ご注文いただけます。

- シリコンテクノロジー株式会社 <https://si-tech.co.jp/> (contact@si-tech.co.jp)

ご質問がございましたら、SiPM 営業チーム [sipm@broadcom.com](mailto:sipm@broadcom.com) までご連絡ください。お客様のご要望に最も合った販売経路を紹介いたします。

**Broadcom SiPM** についてもっと詳しく知りたいと思っています。  
詳しい情報はどこで入手できますか？

[Broadcom SiPM のウェブサイト](#)には、弊社の SiPM の性能と使用方法に関するトピックごとの情報が記載された多数のアプリケーションノートが掲載されています。

また、アプリケーションチームは、お客様のご要望に対応し、詳細情報を提供することができます。  
[sipm@broadcom.com](mailto:sipm@broadcom.com) から、弊社 SiPM アプリケーションチームにご連絡ください。

Copyright © 2024 Broadcom. All Rights Reserved. 「Broadcom」という用語は、Broadcom Inc.および／またはその子会社を指します。詳細は、[www.broadcom.com](http://www.broadcom.com)をご覧ください。本書に記載されているすべての商標、商号、サービスマーク、ロゴは、それぞれの企業に帰属します。

Broadcomは、信頼性、機能、または設計を向上させるために、本書に記載されている製品またはデータを予告なく変更する権利を留保します。Broadcomが提供する情報は、正確かつ信頼できるものと考えられていますが、Broadcomは、本情報の適用または使用、および、本書に記載された製品や回路の適用または使用に起因するいかなる責任も負いません。また、Broadcomの特許権または他者の権利に基づく何らかのライセンスを譲渡することはありません。