

AND9795/D

シリコンフォトマルチプライヤ (SiPM) センサの概要

シリコンフォトマルチプライヤ(SiPM)は、従来の光電子増倍管(PMT)に匹敵する性能特性を備えた微光センサで、固体センサとして実用面でのメリットがあります。SiPMは、LiDAR、医療イメージング、放射線検知、生命科学など、さまざまなアプリケーションに最適です。

SiPMはガイガーモードで動作し、中程度のバイアス電圧 (~30 V) で高い増幅率(1×10^6)が得られます。これはダイオード内部に高電界領域を形成し、この領域でフォトン(光子)が吸収されると、自己増殖する電荷のなだれ(アバランシェ)が発生することによって達成されます。いったんダイオードに電流が流れると、その電流を停止(クエンチ)する必要があります。パッシブクエンチング(能動回路なし)は、ブレークダウン期間にダイオードに流れる電流を制限する直列抵抗を使用して実現できます。これにより、ダイオードの逆方向電圧がブレークダウン電圧より低い値にまで低下します。次に、ダイオードはバイアス電圧まで再充電され、後続のフォトンを検出できるようになります。

このように、ガイガーモードで動作する単一のフォトダイオードデバイスは、フォトリガースイッチとして機能して「オン」または「オフ」状態のどちらかになり、瞬時フォトン束の強度に比例する情報は得られません。ガイガーモードで動作するフォトダイオードは、**SPAD** (シングルフォトンアバランシェダイオード)と呼ばれます。

SiPMは独立した微小なSPADセンサを密に配列して形成され、Figure 1の回路図に示すように、各SPADにはそれぞれクエンチング抵抗を備えています。独立して動作する各SPADとクエンチング抵抗のユニットは、「マイクロセル」と呼ばれます。SiPM中のマイクロセルが吸収したフォトンに反応して起動すると、ガイガーアバランシェが開始し、光電流がマイクロセルに流れます。ガイガーアバランシェは、開始した単一のマイクロセルに限定されることに注意してください。アバランシェ過程中、他のマイクロセルはすべて完全に充電された状態を保持しており、いつでもフォトンの検出が可能です。これら個々のマイクロセルからの光電流の総和により疑似的なアナログ出力が形成され、瞬時フォトン束の強度に関する情報を出力できるようになります。低レベル光パルスに対する応答をFigure 2に、これらのパルスの電荷スペクトルをFigure 3に示します。

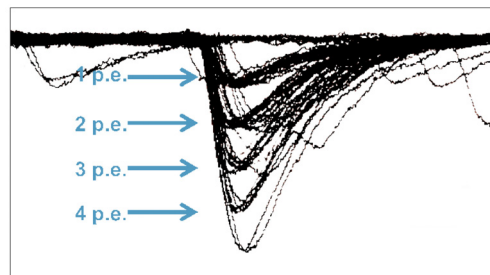


Figure 2. SiPM Output when Illuminated by Brief Pulses of Low-level Light, Showing the Discrete Photon Levels



ON Semiconductor®

www.onsemi.jp

APPLICATION NOTE

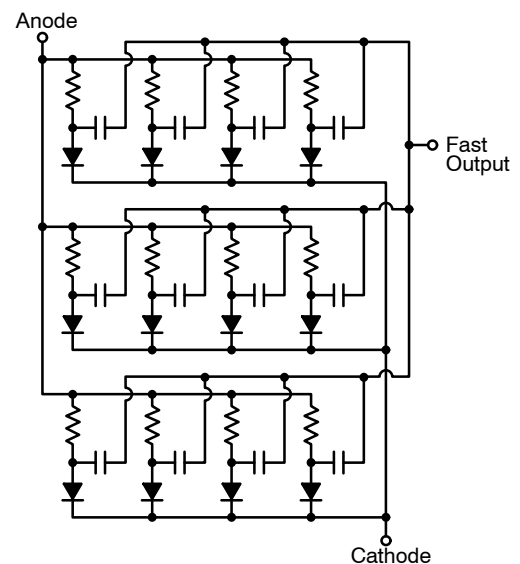
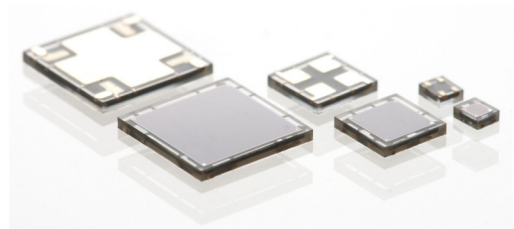


Figure 1. A SiPM Consists of an Array of Microcells (SPAD Plus Quench Resistor) with Summed Output

SiPM Photoelectron Spectrum

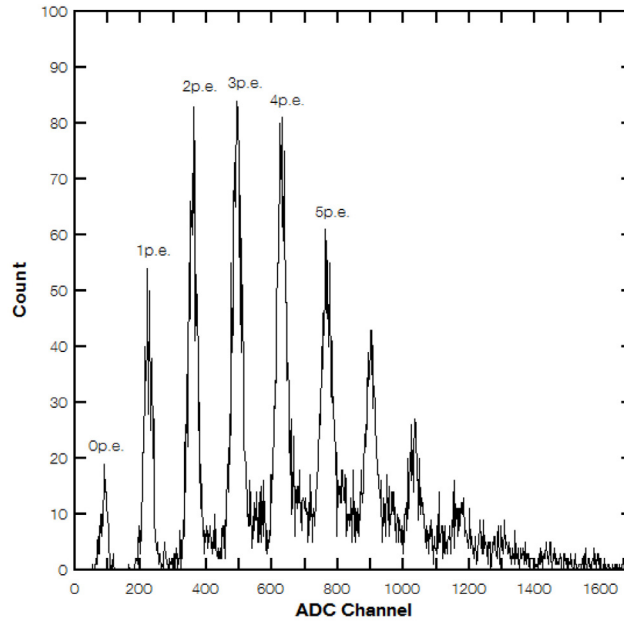


Figure 3. Charge Spectrum Showing the Well Defined Single and Multiple Photon Peaks

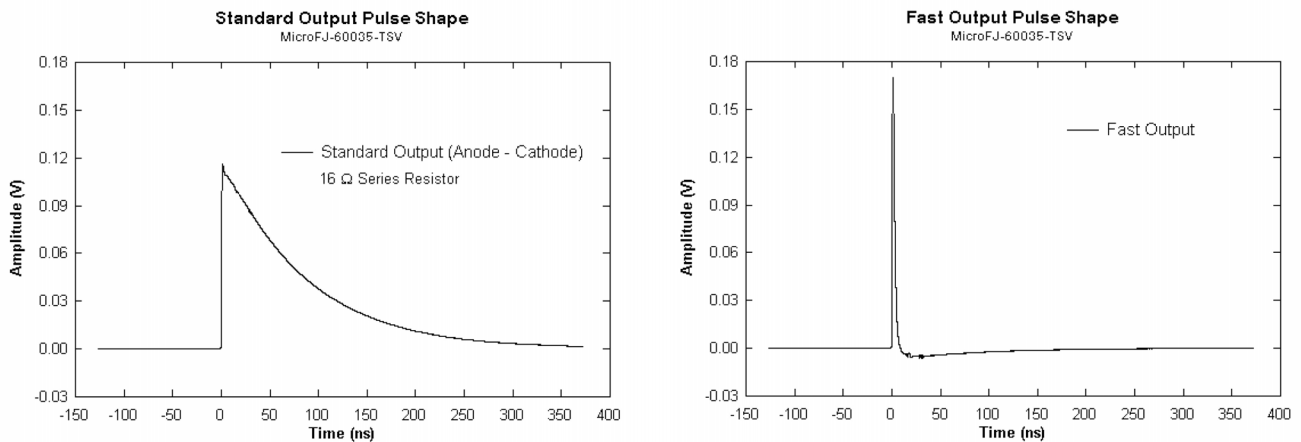


Figure 4. The Standard (Anode-cathode) and Fast Output Pulses

SiPMの応答

SiPMの出力パルスをFigure 4に示します。アノードまたはカソードからの読み出しは、標準出力 (**standard output**) と呼ばれます。センサのリカバリ時間は、マイクロセルの再充電時定数で決まります。この時定数は、センサシステム内のさまざまな容量と抵抗に依存します。マイクロセルの容量は、その面積に依存するため、リセット時間はマイクロセルのサイズによって異なります。

オン・セミコンダクターは、標準的なシリコンフォトマルチプライヤの構造に独自の改良を加え、(アノードとカソードに加えて)第3の端子を設けました。これは、高速出力 (**fast output**) と呼ばれ、Figure 1に示すように、各マイクロセルからの容量結合出力の総和です。

ダイナミックレンジは、マイクロセルの総数、使用過電圧、入射光子の波長の関数です。Figure 5に、1 mm、3 mm、および6 mm角のセンサに対する代表的なダイナミックレンジを示します。光子束の低い領域では、センサは線形応答を示しますが、入射光子数の増加とともに、センサが飽和し始めることがわかります。

SiPMの読み出し

SiPMセンサの使用法に関する手引きについては、アプリケーションノート [AND9782/D](#)「オン・セミコンダクターSiPMセンサのバイアス印加および読み出し(Biasing and Readout of ON Semiconductor SiPM Sensors)」を参照してください。

詳細情報

各種性能パラメータなどシリコンフォトマルチプライヤに関するさらに詳細な概論については、アプリケーションノート [AND9770/D](#)「シリコンフォトマルチプライヤ(SiPM)の概要(Introduction to the Silicon Photomultiplier (SiPM))」を参照してください。

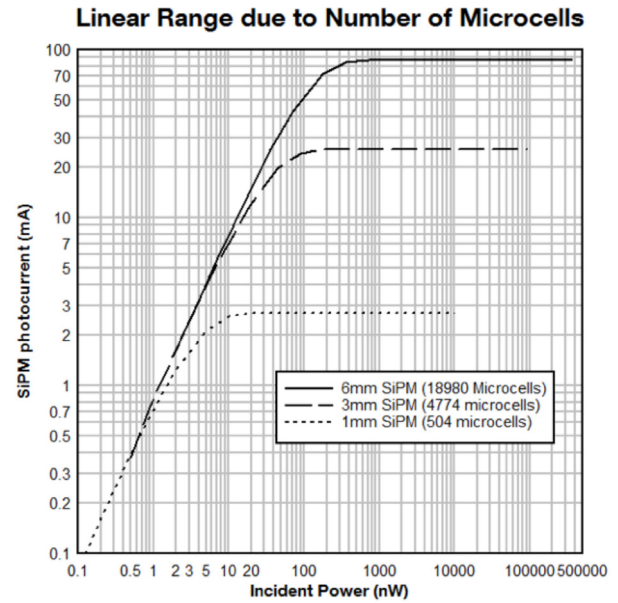


Figure 5. The SiPM Photocurrent as a Function of Incident Power on a Log-log Scale

SensL is a registered trademark of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC) or its subsidiaries in the United States and/or other countries.

ON Semiconductor及びON SemiconductorのロゴはON Semiconductorという商号を使うSemiconductor Components Industries, LLC 若しくはその子会社の米国及び/または他の国における商標です。ON Semiconductorは特許、商標、著作権、トレードシークレット(営業秘密)と他の知的所有権に対する権利を保有します。ON Semiconductorの製品/特許の適用対象リストについては、以下のリンクからご覧いただけます。www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marketing.pdf。ON Semiconductorは通告なしで、本書記載の製品の変更を行うことがあります。ON Semiconductorは、いかなる特定の目的での製品の適合性について保証しておらず、また、お客様の製品において回路の応用や使用から生じた責任、特に、直接的、間接的、偶発的な損害など一切の損害に対して、いかなる責任も負うことはできません。お客様は、ON Semiconductorによって提供されたサポートやアプリケーション情報の如何にかかわらず、すべての法令、規制、安全性の要求あるいは標準の遵守を含む、ON Semiconductor製品を使用したお客様の製品とアプリケーションについて一切の責任を負うものとします。ON Semiconductorデータシートや仕様書に示される可能性のある「標準的」パラメータは、アプリケーションによっては異なることもあり、実際の性能も時間の経過により変化する可能性があります。「標準的」パラメータを含むすべての動作パラメータは、ご使用になるアプリケーションに応じて、お客様の専門技術者において十分検証されるようお願い致します。ON Semiconductorは、その特許権やその他の権利の下、いかなるライセンスも許諾しません。ON Semiconductor製品は、生命維持装置や、いかなるFDA (米国食品医薬品局)クラス3の医療機器、FDAが管轄しない地域において同一もしくは類似のものと同様に分類される医療機器、あるいは、人体への移植を対象とした機器における重要部品などへの使用を意図した設計はされておらず、また、これらを使用対象としておりません。お客様が、このような意図されたものではない、許可されていないアプリケーション用にON Semiconductor製品を購入または使用した場合は、たとえ、ON Semiconductorがその部品の設計または製造に関して過失があったと主張されたとしても、そのような意図せぬ使用、また未許可の使用に関連した死傷等から、直接、又は間接的に生じるすべてのクレーム、費用、損害、経費、および弁護士料などを、お客様の責任において補償をお願いいたします。また、ON Semiconductorとその役員、従業員、子会社、関連会社、代理店に対して、いかなる損害も与えないものとします。ON Semiconductorは雇用機会均等/差別撤廃雇用主です。この資料は適用されるあらゆる著作権法の対象となっており、いかなる方法によっても再販することはできません。

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor
19521 E. 32nd Pkwy, Aurora, Colorado 80011 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada
Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com

Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>

For additional information, please contact your local Sales Representative