

単一光子検出アバランシェフォトダイオードの為のリセット機能付き受動クエンチング回路

Reset function-equipped passive-quenching circuit for single-photon avalanche photodiodes

日大量科研 ○高野 晃*, 行方 直人**, 井上 修一郎

Nihon Univ., [○]Akira Takano*, Naoto Namekata**, and Shuichiro Inoue

E-mail: *atakano@phys.cst.nihon-u.ac.jp, **nnao@phys.cst.nihon-u.ac.jp

単一光子検出アバランシェフォトダイオード(SPAD)は可視光から近赤外領域における単一光子検出に広く用いられている。SPAD を用いて効率的に光子検出するためには、SPAD へ降伏電圧を超える逆電圧を印加する(ガイガーモード動作)。SPAD をガイガーモード動作させる最も単純な駆動回路は受動クエンチング回路(PQC)であり、これはフリーランニング(非ゲート型)光子検出を実現する[1]。PQC による動作においては、時定数 $\tau \sim C_d R_q$ によって検出不可能時間(DT)が決まり、 R_q は数百 k Ω 程度($\tau < 1 \mu\text{s}$)が用いられてきた。ここで C_d は SPAD の容量、 R_q は PQC のクエンチング抵抗である(図1を参照)。近年、高効率かつ低雑音な単一光子検出を実現するため、SPAD からの光増倍電流をできるだけ小さくする試みがなされている[2]。PQC においては、 R_q を高くすることでそれが実現できる。一方で、高 R_q (例えば $> 100 \text{ M}\Omega$) の採用は DT を著しく長くしてしまう。今回、我々は、高 R_q と短い DT を両立する最も簡素な SPAD 駆動回路を試作した。

Fig.1 に提案する SPAD 駆動回路の概略を示す。本回路は PQC を基礎としており、SPAD 端子間電圧のリセットのみが能動的に行われる。今回、回路試験用の SPAD として InGaAs/InP-SPAD (PGA-300、降伏電圧: 64.5 V) を用いた。FET の drain-source 間のオン抵抗は $160\ \Omega$ であり、一方、オフ抵抗は $\sim 1\ \text{G}\Omega$ である。よって、最大、 $1\ \text{G}\Omega$ 程度の R_q を採用できる。本実験では、実際に $R_q = 1\ \text{G}\Omega$ とした。SAPD からの光増倍電流はディスクリミネータによって、しきい値検出され、また電圧ロジック信号へ変換される。その信号は、遅延発生器による遅延およびパルス幅の制御を受けた後、FET の gate 端子へ入力され、FET はオン状態となる。この時、SPAD アノードからグランド (GND) へ向かう回路へは $160\ \Omega$ のバイパスができ、時定数 $\tau \sim 1\ \text{ns}$ によって SAPD 端子間電圧が回復し、そして、再び光子検出可能な状態となる。PQC による駆動では本来 $600\ \mu\text{s}$ 以上となる DT を、能動リセット機能の付加によって、 $1\ \mu\text{s}$ 以下とすることが可能となった。Fig.2 に逆電圧 67.5 V 印加時の DT (逆電圧リセット時間) と総アフターパルス確率 (P_A) の関係を示す。DT = $10\ \mu\text{s}$ の時、 $P_A = 7.75\ \%$ となった。また、この時の検出効率は $2.4\ \%$ 、暗計数率は $79.8\ \text{kHz}$ であった。

- [1] S.Cova, M.Ghioni, A. Lacaita, C.Samori, and F. Zappa, Appl. Opt., **35**, 1956 (1996).
- [2] X. Jiang, M. A. Itzler, K. O'Donnell, M. Entwistle, and K. Slomkowski, in Proc. SPIE, **8033**, 80330K-1(2011).

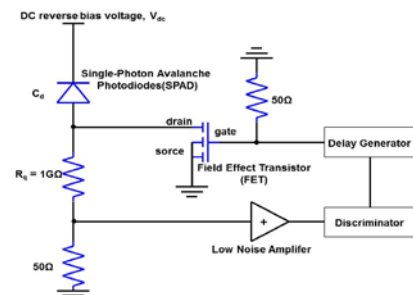


Fig.1. Diagram of the SPAD driving circuit.

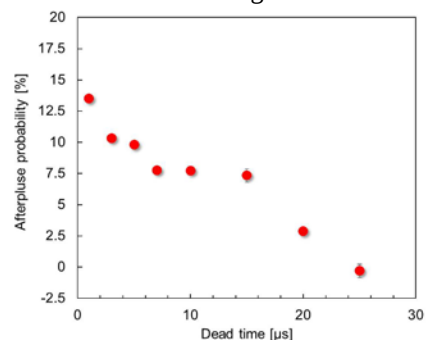


Fig.2 . Afterpulse probability as a function of the dead time.