

ゲートドアバランシェフォトダイオードを用いたパルスオキシメータの試作

Pulse Oximeter Using a Gated Avalanche Photodiode

○宮田剛¹⁾, 岩田哲郎²⁾, 荒木勉³⁾

○Tsuyoshi Miyata¹⁾, Tetsuo Iwata²⁾ and Tsutomu Araki³⁾

新居浜高専¹⁾, 徳島大工²⁾, 阪大院・基礎工³⁾

Niihama Natnl. Coll. of Tech.¹⁾, Univ. of Tokushima²⁾, Osaka Univ.³⁾

E-mail: miyata@mec.niihama-nct.ac.jp

We have constructed a pulse oximeter adopting a lock-in like method by use of a gated avalanche photodiode (APD). The APD was gated by a TTL signal, which was superimposed on a direct current (dc) bias not exceeding the breakdown voltage of the APD. The APD is operated at a frequency of $2f$ ($=20$ kHz) and its output signal is fed into a laboratory-made lock-in amplifier that works in synchronous with the gated APD at a frequency f ($=10$ kHz). The system is useful for detecting a weak signal arising from blood elements superimposed on a large background.

1. はじめに

今までに、光を用いて血中成分を非観血的に計測する多くの方法が提案されている。その中でも、パルスオキシメータは酸素飽和度を測定するもっとも実用化された機器である。特に最近では、測定部位の自由度の観点から、反射型パルスオキシメータが期待されている。しかしながら、反射型は従来の透過型に比べて脈動成分が非常に微弱なため、信号の検出が困難とされている。我々は既に、アバランシェフォトダイオード (APD) をゲート動作させ、 f - $2f$ 方式により信号検出するロックイン光検出システムを考案している¹⁾。今回、我々はこの方式を反射型パルスオキシメータに適用してみた。この方式は検出器自体にゲートを動作させて、S/Nを高くできるからである。

2. 測定原理

Fig. 1 にロックイン光検出システムによる反射型パルスオキシメータのブロック図を示す。酸素飽和度を測定する為に、赤色光 (635 nm) と近赤外光 (945 nm) の 2 波長を用いた。赤色光は中指、赤外光は人指し指に照射し、同時に計測できるようにした。

まず周波数 f ($=10$ kHz)、デューティ比 0.5 で 2 つの LED を駆動する。それぞれの光パルスは、指先端部に照射され、間隔 d mm 離れた APD に入射する。一方、2 つの APD にはブレークダウン以下のバイアス電圧を印加しておき、周波数 f の光パルスに同期させながら $2f$ ($=20$ kHz) でゲート動作させる。すなわち Fig. 1 中の吹出し図 B のように、 $2f$ でゲート動作させることにより、信号成分、バックグラウンド成分を交互に検出する。APD からの信号は、参照信号周波数 f で動作する位相検波回路 (CD-505R2, NF 回路設計ブロック) に導かれ、同図の破線で示すような周波数 f の成分波形のみを検出する。この振幅値は、脈波のそれに比例している。実際の測定はオシロスコープを直読して行った。

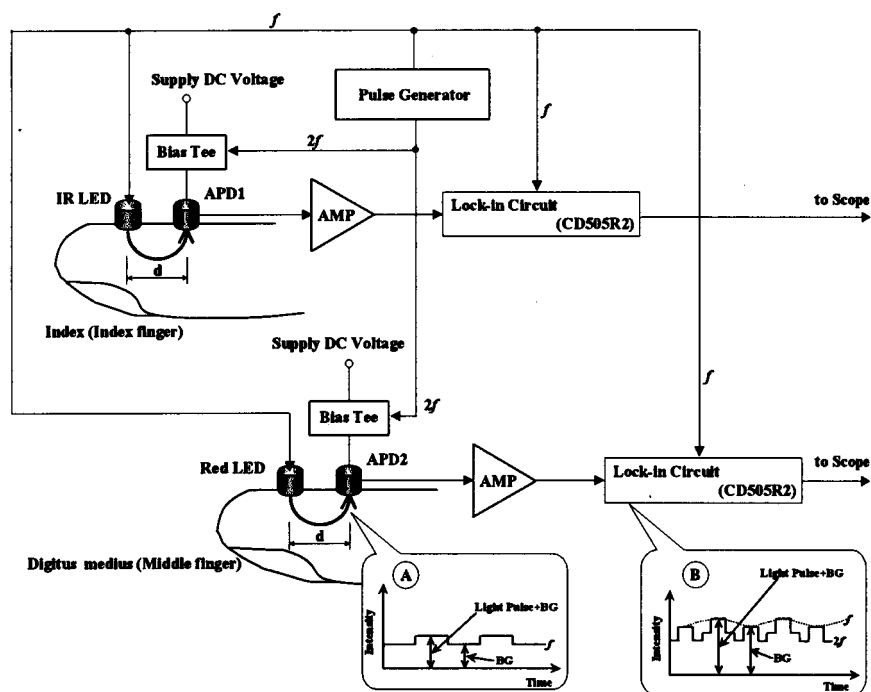


Fig. 1. Experimental setup

3. 実験結果

人指し指には、近赤外LED (SLR931A、波長 945 nm、三洋電機) を平均光パワー0.9 mW で入射し、それを APD1 (S2382、 $V_b=154$ V、浜松フォトニクス) で検出した。APD 1 には DC147.5 V と周波数 20 kHz の TTL レベルのパルス電圧を印加しゲート動作させた。Fig. 2(a) は、ゲート動作させたときの APD 1 の出力波形である。ここで、ゲート幅は 14 μ sec とした。ゲート幅を変化させれば、ゲインを変えることもできる。また、中指には、赤色LED (GL5HD43、波長 635 nm、シャープ) を平均光パワー0.8 mW で入射し、それを APD2 (S2382、 $V_b=142$ V、浜松フォトニクス) で検出した。APD2 には DC135.8 V を印加し、上記と同様な TTL パルスでゲート動作させた。その出力波形が Fig. 2(b) である。

Fig. 3 は、これらの信号をそれぞれロックイン検出回路に入力したときの出力結果である。Fig. 3(a)は、人指し指 (近赤外光) に対する出力波形で、Fig. 3(b)は、中指 (赤色光) に対する出力波形を示す。吸光度比 ϕ は、次式より求められる。

$$\phi = \frac{\Delta R / R}{\Delta IR / IR} \quad (1)$$

ここで、R、IR は、赤色光と近赤外光の直流成分であり、 ΔR 、 ΔIR はそれぞれの脈動成分である。Fig. 3 の結果から、 $\phi=0.53$ となった。また、2波長方式による酸素飽和度 S は、次式から求められる^{2),3)}。

$$S = \frac{\phi E_{aIR} - E_{dR}}{\phi(E_{aIR} - E_{oIR}) + E_{oR} - E_{dR}} \quad (2)$$

ここで、 E_o は酸化ヘモグロビン (oxy-Hb) のモル吸光係数、 E_d は還元ヘモグロビン (deoxy-Hb) のモル吸光係数である。添字の R、IR はそれぞれ赤色光、近赤外光に対する量であることを意味している。このようにして求めた S を経皮的動脈血酸素飽和度 (SpO_2) と呼ぶが、上記の吸光度比を(2)式へ代入して酸素飽和度を計算すると 96% となった。ここで、それぞれの E 値は文献 2) の値に従った。参考のため、市販のパルスオキシメータ (Pulsox-3i、コニカミノルタ) で計測すると 96% となり、同じ値が得られた。

4. おわりに

ゲート動作 APD ロックイン光検出方式を反射型パルスオキシメータに適用した結果、市販品レベルの結果を得ることができた。測定波長を増やせば、血中の血糖値などを測定する場合にも適用できる可能性もあると思われる。

参考文献

- 1) T. Miyata, T. Iwata and T. Araki: "Simple, small-sized, lock-in light detection system using a gated Si avalanche photodiode," Proc. SPIE, 4416 (2001) 444-447.
- 2) 青柳卓雄: "パルスオキシメトリの理論と性能改善", 医器学, 66 (1996) 440-445.
- 3) 青柳卓雄: "パルスオキシメータ", 医器学, 68 (1998) 315-319.

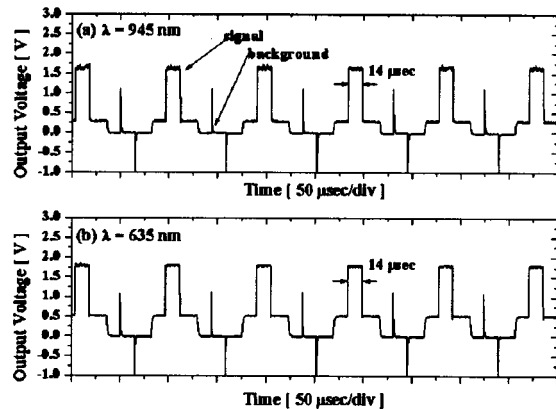


Fig. 2. (a) Output signal waveform obtained from the gated APD1 ($\lambda=945$ nm), (b) that obtained from the gated APD2 ($\lambda=635$ nm).

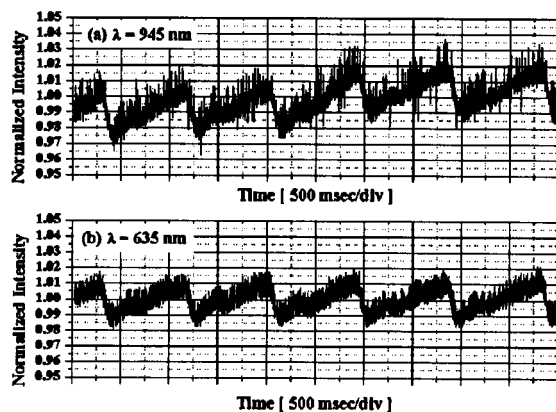


Fig. 3. (a) Measured signal obtained from the gated APD an IR LED ($\lambda=945$ nm) was used, (b) that signal when Red LED ($\lambda=635$ nm) was used.