

1 ビット光子自己相関計による非同期方式蛍光寿命測定

1-bit photon auto-correlator for fluorescence lifetime measurements

徳島大院 °長谷 悠樹, 水野 孝彦, 岩田 哲郎

Graduate School of Tokushima University, °Yuki Hase, Takahiko Mizuno, Tetsuo Iwata

E-mail: c501732018@tokushima-u.ac.jp

1. はじめに

前回, 1 回の試料励起に対して複数個の光子検出が可能な光電子パルス列同時検出法に基づく蛍光寿命計を FPGA (Field-Programmable Gate Array) ベースで試作し報告した.^{1,2)} 時間分解は 1.0~2.0 ns, 測定時間範囲は 64.0~128.0 ns (64 channel), ヒストグラム生成のための装置の不感時間は零, 測定の繰返し周波数の上限は測定時間範囲で決定され, それ以下にも設定できるようにした. 分解時間を多少犠牲にしても, 従来の時間相関単一光子計数システム(TC-SPC; time-correlated single-photon-counter)の信号利用効率の低さを改善し, ヒストグラム作成効率の低さ, すなわちシステムの不感時間の問題を解消するのが目的であった. しかし, 励起光のタイミングと同期をとる必要があった. 本報告では, ほぼ同様な装置構成で, しかし非同期で蛍光寿命測定が行えることを示す. すなわち参照信号をモニターせずに蛍光減衰波形が取得できるようにした.

2. 1 ビット光子相関計を用いた蛍光寿命測定装置

Fig. 1 に, 測定システムのブロック図を示す. ファンクションジェネレーターからのパルスの立ち上がりでピコ秒パルサー ($\lambda = 375$ nm, PLP-10-038, Hamamatsu Photonics) をトリガーし, その出力光で試料を励起した. 試料からの蛍光は長波長透過フィルタ (LPF) を経て光電子増倍管 (PMT) で検出する. PMT からの出力信号はパルスアンプ及びディスクリミネータを経て LVDS レベルで FPGA 上に構築された 1 ビット自己相関計のシフトレジスタに入力される.

自己相関計の仕様は, シフトレジスタ長が 128 bit, シフトクロック周波数 f を 500 MHz とした. したがって, 分解時間は 2.0 ns, 相関時間のスパンは 256 ns である. ここで, 自己相関計は励起タイミングとは非同期に動作する. 演算結果はシフトレジスタの各並列出力に接続したカウンタ群 (32 bit $\times$ 128) に積算された後, 1.0 秒毎にパソコン上に転送され, ヒストグラム波形が作成される. したがって, ほぼリアルタイムで測定結果が観察できる. 使用した FPGA ボードは DE0-Nano-Soc (Terasic) である.

3. 蛍光寿命測定結果

製作したシステムの性能評価の目的で, 100 ppm 硫酸キニーネ 0.1 N 硫酸溶液の蛍光減衰波形を自己相関計で測定した. その結果を Fig. 2 に示す. 励起繰返し周波数は 5 MHz であり, 測定に要した時間は 1.0 秒である. 蛍光寿命を単一成分と仮定した場合, 18.1 ns の蛍光寿命が得られた. 同じ測定条件で 1 ビット光子相関計のシフトクロック周波数を $f = 450$ MHz, 400 MHz として測定を行い, 得られた測定結果をシフトクロック周波数の比の逆数で縦軸補正し重畳プロットした結果を Fig. 3 に示す. 不等サンプリング間隔となる

が, 測定の分解時間が向上できていることが確認できる.

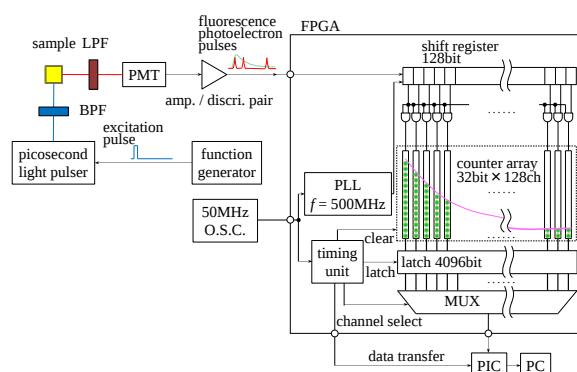


Fig. 1 Schematic of a whole measurement system and a 1-bit photon auto-correlator constructed in an FPGA.

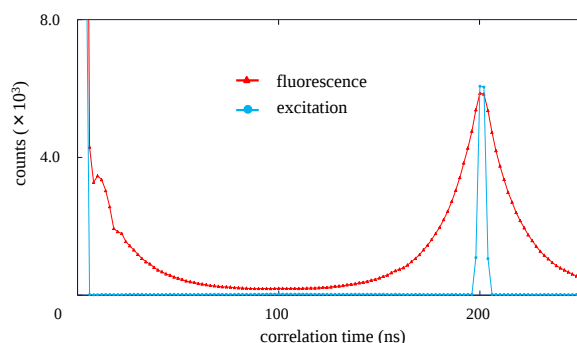


Fig. 2 Measurement results of a fluorescence decay (red) of 100 ppm quinine sulfate in 0.1 N H_2SO_4 and an excitation waveform (blue) by the 1bit photon auto-correlator, where the repetitive excitation frequency was 5.0 MHz.

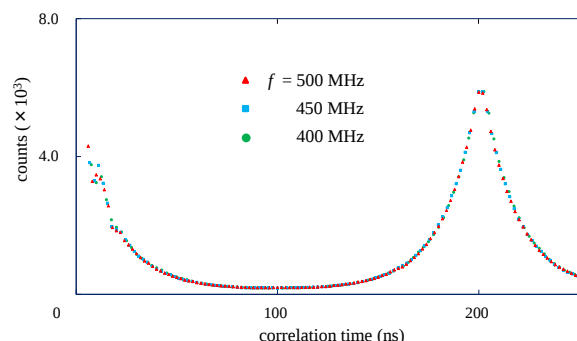


Fig. 3 The same as that shown in Fig. 2 but three measurement results (shift-clock frequencies 400, 450, and 500 MHz) were superimposed after compensation of the clock frequency.

- 1) T. Iwata and T. Mizuno, Meas. Sci. Technol. 28, 075501 (2017).
- 2) 水野, 多賀, 岩田: Optics photonics Japan 2016 2pP13.