

FPGA を用いた 1 ビット光子相関計による蛍光寿命計

FPGA-based 1-bit photon correlator for fluorescence lifetime measurements

徳島大 ○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: c501302084@tokushima-u.ac.jp

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) ベースで試作できることを報告した.^{1,2)} その仕様は, 分解時間 1.0~2.0 ns, 測定時間範囲 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であり, 測定の繰返し周波数の上限は測定時間範囲で決まった. そこでは, 時間分解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. 本報では, ほぼ同様な目的で 1 ビット光子相互相関計および 1 ビット光子自己相関計を FPGA ベースで製作し, 蛍光寿命測定が行えることを示す.

図 1, 図 2 がそれぞれ FPGA 上に構築した 1 ビット光子相互相関計, および 1 ビット光子自己相関計である. ここではシフトレジスタ長を 64bit とし, シフトクロック周波数を 500MHz とした. したがって, 時間分解は 2.0 ns となる. 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 (32×64 ビット) に積算された後, 1.0 秒毎に非同期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. ここで使用した FPGA ボードは Cyclone V GX Starter Kit (Terasic)である.

製作したシステムの性能評価の目的で, 10 ppm 硫酸キニーネ 0.1N 硫酸溶液の蛍光減衰波形を測定した結果を図 3 に示す. これはパルス励起波形とそれによって生じた光電子パルス列との相互相関波形である. 図 4 はそのような光電子パルス列同士の自己相関波形の測定結果であり, ほぼ同様な減衰波形が得られている. 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ている. ここで, 励起光源として, ピコ秒パルサー ($\lambda=375$ nm, PLP-10-038, Hamamatsu Photonics) を用い, 繰返し周波数は 2.0 MHz とした. 試料からの蛍光は, 長波長透過フィルタ ($\lambda=420$ nm; SCF-50S-42L, SIGMAKOKI CO. LTD.)を経て, 光電子増倍管 (H6780-01, Hamamatsu Photonics) に入射させた. ここで, 自己相関波形の場合には参照信号の取得が不要であることが大きな特長である.

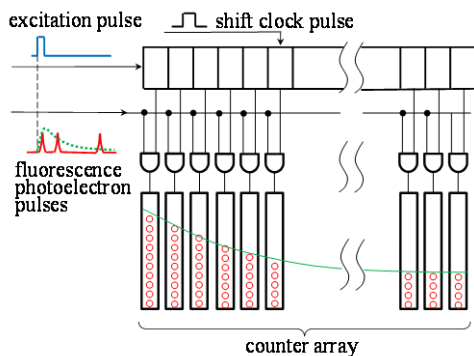


Fig. 1 Schematic of a 1-bit photon cross-correlator constructed by an FPGA.

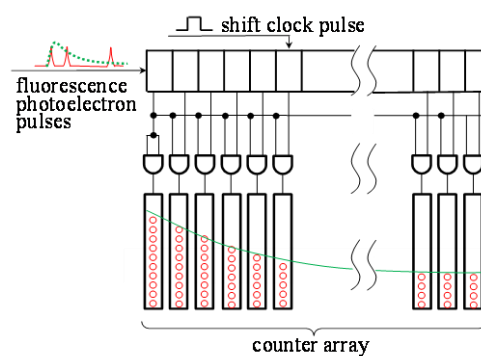


Fig. 2 Schematic of a 1-bit photon auto-correlator constructed by an FPGA.

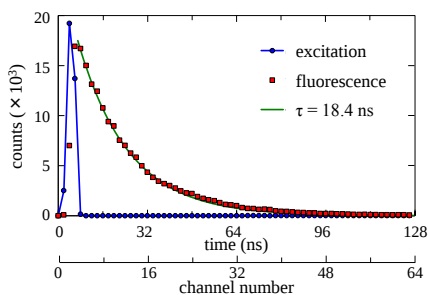


Fig. 3 Measurement result of a fluorescence decay waveform of 10 ppm quinine sulfate in 0.1 N H₂SO₄ by the 1-bit photon cross-correlator.

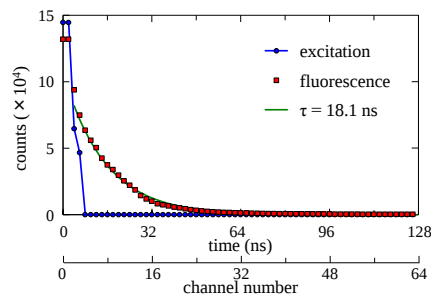


Fig. 4 Measurement result of a fluorescence decay waveform of 10 ppm quinine sulfate in 0.1 N H₂SO₄ by the 1-bit photon auto-correlator.

- 1) 水野,多賀,岩田:第 77 回応用物理学会秋季講演会 16p-C32-4. 2)水野,多賀,岩田:Optics photonics Japan2016 2pP13.