

FPGA を用いた光子計数型位相変調方式蛍光寿命測定計の製作

Construction of a photon-counting phase-modulation fluorometer using an FPGA

徳島大院, ○多賀 貴規, 水野 孝彦, 岩田 哲郎

Graduate School of Tokushima University, ○Takanori Taga, Takahiko Mizuno, Tetsuo Iwata

E-mail: c501632013@tokushima-u.ac.jp

1. はじめに

最近, 我々は光子計数型位相変調方式蛍光寿命計 (PC-PMF; photon-counting phase-modulation fluorometer) の報告を行った¹⁾. それにより, 従来の位相変調法では原理的に対応困難であった微弱光に, 最大 1.0 GHz までの変調周波数かつ測定の分解時間 10 ps 以下で対応できるようになった. しかし, 時間分析器として時間振幅変換器 (TAC; time-to-amplitude converter) を採用しているため, 励起の繰り返し周波数が上げられない, 波高分析器として用いるマルチチャンネルアナライザの動作時間が遅いため信号の収集効率が非常に低いという問題点があった. 一方で, ある程度の”明るい”試料に対しては, 時間分解時間を多少犠牲にしても信号の収集効率を向上させたいという要求もある.

この要求に対応するために, 我々は FPGA (field programmable gate array) に着目した. FPGA は, 自由に書き換えが可能な論理デバイスであり, 近年急速に性能が向上してきている. しかもさほど高価でない. 特長としては, 回路設計のフレキシビリティが非常に高い, 高速動作が可能, 高密度に回路要素を配置できるなどが挙げられる. 本報告では, そのような FPGA を用いて最大 100 MHz まで動作可能な 2 チャンネル光子計数型位相変調方式蛍光寿命計を構築した. 装置的には, 参照周波数 f と $2f$ で動作する 2 チャンネルの同期式単一光子計数器 (SSPC; synchronous single-photon counter)²⁾である. この装置では, FPGA を用いているため, チャンネル数を増やすことは容易である. 今回は, 動作確認の目的で 10 μ M ローダミン 6G エタノール溶液の蛍光寿命測定を行った結果を示す.

2. FPGA を用いた光子計数型蛍光寿命測定システム

図 1(a)に, システムのブロック図を示す. 任意波形ジェネレータ (FG; AWG520, Tektronix) により, 周波数 f と $2f$ の正弦波から成る合成波形とそれに同期した周波数 f で矩形の参照信号を繰り返し発生させる. ここで, データ間隔は 1.0 ns, 全データ点数は 500 とし, 繰り返し合成波形に不連続点が生じないようにした. その合成波形で発振波長 $\lambda=405$ nm のレーザダイオード (LD; NDV4313, Nichia) を変調させ, 試料を励起した. 試料からの蛍光は長波長透過フィルター (LPF; SCF-50S0-44Y, Sigma Koki) を経て, 光電子増倍管 (PMT; R7400U, Hamamatsu Photonics) で検出した. PMT からの出力信号は, 高速パルス増幅器 (AMP; 574, Ortec), 定比率波高弁別器 (CFD; 585, Ortec) を経た後, FPGA (DE0-CV, Terasic) で構成された 2ch の SSPC に入力させた. 一方, 周波数 f の参照信号は直接 FPGA に入力させた.

図 1(b)に, SSPC の 1ch 分の構成図を示す. 入力測定波形に対して, 参照波形の位相を 0° , 90° , 180° , 270° とシフトさせた波形を作成し, それぞれのタイミングで入力信号波形との乗算を AND ゲートで行う. それらの結果を 32 ビットカウンタで積算した. カウンタの内容は, 励起波形と非同期に 1 秒間隔でラッチし, ペリフェラルインターフェイスコントローラ (PIC; 18F14K50-I/P,

Microchip) を経由して, 8bit パラレルでパソコン上で動作する LabVIEW (National Instruments) に取り込めるようにした. LabVIEW 上では, $A = \sqrt{R^2 + I^2}$, $\phi = \tan^{-1} I/R$, の計算を行う. ここで, A は振幅, ϕ は位相である. また, $R = [C_A] - [C_B]$, $I = [C_C] - [C_D]$, このとき, $[C_A]$ はカウンタ A の計数値を表す. これにより, 位相計算, 蛍光寿命算出が 1 秒間隔で行える. 振幅変調度比からの計算も可能である.

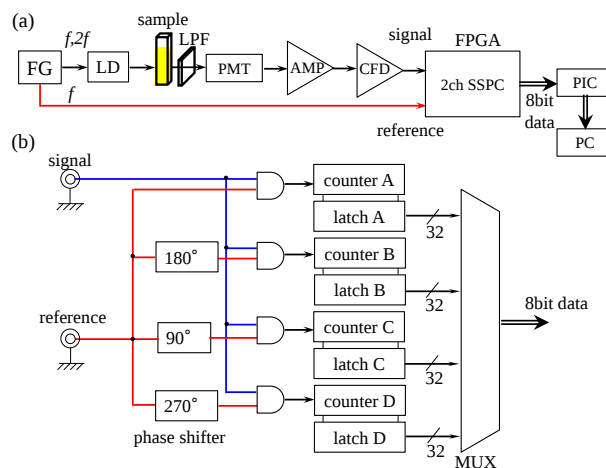


Fig.1 (a) Schematic of a PC-PMF using an FPGA. and (b) schematic of the single-channel SSPC constructed in the FPGA.

3. FPGA を用いた 2ch SSPC での位相測定結果

図 2 に, 10 μ M ローダミン 6G エタノール溶液 (吸収ピーク波長 531 nm, 蛍光ピーク波長 553 nm) に対して, 変調周波数 f を随時変化させながら, f , $2f$ の 2ch での位相測定を同時に行った結果をプロットした. ここで, f は 5.0 MHz から 50.0 MHz まで段階的に変化させた. 実線は蛍光寿命を単一成分とした場合の理論値である. グラフより, ほぼ理論値通りの結果が得られたことがわかる. また, 振幅変調度比での測定結果もほぼ同じであった.

FPGA を用いたことにより, カウンタのビット長など細かい測定条件がその場で変更可能となった. これは, 構成するシステムがより複雑になるほど有用だといえる.

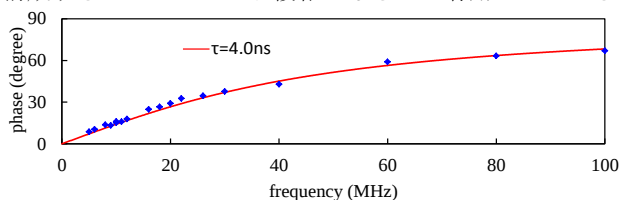


Fig.2 A plot of phase versus modulation frequency for 10 μ M rhodamine 6G in ethanol.

参考文献

- 1) T. Mizuno. et. al., Rev. Sci. Instrum., **86**, 043110 (2015).
- 2) F. T. Arecchi. et. al., Rev. Sci. Instrum., **37**, 942 (1966).