FPGA を用いた高効率光電子パルス列同時検出方式蛍光寿命計

Construction of a high-speed FPGA-based fluorometer with a high data-gathering efficiency

徳大院 ⁰水野 孝彦, 多賀 貴規, 岩田 哲郎

Graduate School of Tokushima University, [°]Takahiko Mizuno, Takanori Taga, Tetsuo Iwata

E-mail: c501342005@tokushima-u.ac.jp

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¹⁾に基づく蛍光寿命計を FPGA ベースで試作した.現状の仕様は,分解時間 2.0 ns,測定時間範囲 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る.したがって, 測定の繰返し周波数の上限は測定時間範囲で決まる. 装置の性能評価実験として,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.

従来の時間振幅変換器 (TAC; time-to-amplitude converter)とパルス波高分析器を用いた時間相関単一 光子計数システム (TC-SPC; time-correlated singlephoton-counter) は、ピコ秒オーダの分解時間を有する が、ある程度の蛍光量子収率を有する試料に対してで も、波形歪なしに測定を行うためには、故意に入射光 量を制限せざるを得ず、信号利用効率が1%以下と極 短に低い. この欠点を克服する手法が光電子パルス列 同時検出法である.分解時間を多少犠牲にしても信号 利用効率を1桁程度向上させるという発想である.し かし、それでも波形のヒストグラム作成に要する装置 の不感時間が高速繰返し励起を大幅に制限にしていた. 本報では、そのような困難を一度に解決する装置を FPGA (Feild Programmable Gate Array) で構築した結果 について報告する. 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いる. しかもさほど高価でない. 特長として, 回路設計のフ レキシビリティーが非常に高い, 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.

図1に、FPGA 中の光電子パルス列同時検出装置の ブロック図を示す.高速化のキーポイントは、試料励 起後,時系列として発生する蛍光の光電子パルス列を, 500 MHz で動作する 64 ビットシフトレジスタ上の空 間的なビットパターンとして記録し、それらのビット パターンの内容を同時かつ並列に、それらに接続され た64 個の32 ビットカウンタ群に加算することにある. 積算された光電子パルス列の内容は、すべてのカウン タ並列出力 (32×64 ビット)を1度にラッチした後, 0.1 秒毎に励起タイミングとは非同期にパソコン上に 転送し、ヒストグラムを作成する.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 2 に示す. 図の青点のプロットは励起波形,赤 点は蛍光波形を示す. 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、18.8 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 (λ =375 nm, PLP-10-038, Hamamatsu Photonics)を用い,繰返し周波数は 10 MHz とした. 試料からの蛍光は,長波長透過フィルタ(λ =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, 励起と測定開始のタイミングがずれているが, それによって励起繰返し周波数 10 MHz でヒストグラ ム作成が実行されていることが分かる. ビット数やチ ャンネル数などのパラメータの変更はその場で行える. 並列動作をさせてさらに高分解能化を図ることもでき る¹⁾.



Fig. 1 Schematic of an simultaneous photoelectron-pulse-sequence detection system constructed by an FPGA.



Fig. 2 Measurement result of a fluorescence decay waveform of 10 ppm quinine sulfate in 0.1 N H₂SO₄. (red) and an excitation waveform (blue) A green line shows a single exponential decay curve with $\tau = 18.0$ ns.

1) T. Iwata, et al., Appl. Spectrosc., 39, 1, 101 (1985).