擬似ランダム変調励起光による発光寿命測定における論理ゲートと光源の電流変調を用いた高速化

Speeding Up Luminescence Lifetime Measurements with Pseudo-Randomly Modulated Excitation Light Employing Logic Gate and Source Current Modulation

東理大理 [1]，電通大 [2]　○宇井 颯太 [1]，瀬戸 啓介 [1]，小林 孝嘉 [2]，徳永 英司 [1]

Tokyo Univ. Sci. [1], Univ. Electro-Commun.[2],

○Sota Ui[1], Keisuke Seto[1], Takayoshi Kobayashi[2], Eiji Tokunaga[1]

E-mail: 1221508@ed.tus.ac.jp

蛍光寿命イメージング（FLIM）では、試料のイオン濃度、pH 値、屈折率、溶存ガス濃度、生体組織中の局所環境などを測定できる。信号雑音比（S/N）は、蛍光光子数に比例する。ところが通常はパルス励起した後は蛍光が緩和するまで励起せず、取得光子は最初に励起した蛍光のみである為、十分な S/N を得るには時間を要することがある。山田ら[1]は、緩和時間より短いパルス幅の 1 と 0 からなる疑似乱数パルス系列（M 系列）で励起し、時間をずらした同一の系列と発光の相関を取り、緩和曲線を得る方法で、単位時間当たりの発光光子数を増やし、S/N を向上させた。しかし、M 系列を生成するマイコンの動作速度と EOM の応答速度により、励起光の変調速度が制限されていた。本研究では、変調を高速化するため、論理ゲートで M 系列を生成し、ダイオードレーザーを電流変調した。

実験では、バイアスティーを通し、520 nm のレーザーダイオードに印加する電流を M 系列（パルス幅 33 ns 周期 63）で変調した（Fig. 1）。この変調光で燐光性の白金オクタエチルポルフィリン（PtOEP）のクロロホルム溶液（32 μM）を励起した。発光を光電子増倍管で検出し、オシロスコープで記録した。記録した波形と変調波形の巡回畳み込み積分で緩和曲線を得た。

Fig. 2 緑線は試料を単一パルスで励起して得た緩和曲線である。緩時間は 0.28 μs であった。Fig. 2 赤線は本方法による結果である。緩和時間は 0.13 μs であった。この違いは、M 系列の要素当たりの有限時間（1.4 ns）のパルス遷移の回数が、1 の要素が連続する個数により異なる事が影響した可能性がある。そこで、パルス幅が半分の矩形波と M 系列の AND 演算を取りチョップする事で、この回数の違いを無くした（Fig. 3）。Fig. 2 青線は、チョップ後の復調結果である。緩和時間は 0.22 μs であった。赤線より青線の方が良好であった。従って、パルス遷移時間の影響は無視できない。残りの系統誤差は、バイアスティーの帯域制限による波形の乱れが影響している可能性がある。講演ではこのような励起波形の忠実性を悪化させる要因を検討し、正確度の向上を試みる。

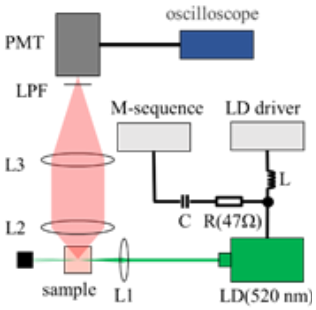

Fig.1 System to measure luminous lifetime. PMT: photomultiplier tube, LPF: longpass filter

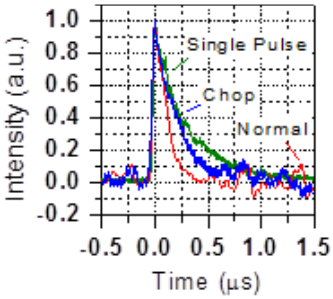

Fig.2 Green curve: sample was excited by the single pulse, Red: by the M-sequence, and Blue: by the chopped M-sequence.

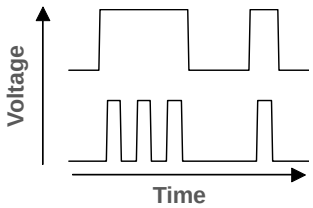

Fig.3 Top: raw M-sequence Bottom: chopped M-sequence.

[1] 山田弘夢ら、第 68 回応用物理学会春季学術講演会、17a-Z08-7（2021 年 3 月）.