センシング RF コムを用いた光音響波の計測

Detection of photoacoustic wave using sensing RF comb

徳島大 [1], JST, ERATO 美濃島知的光シンセサイザ [2], 電通大 [3], 佐賀大 [4]

○増岡孝 [1,2], 小倉隆志 [1], 南川丈夫 [1,2], 中嶋善晶 [2,3], 山岡禎久 [4], 美濃島薫 [2,3], 安井武史 [1,2]

○T. Masuoka[1,2], T. Ogura[2], T. Minamikawa[1,2], Y. Nakajima[2,3], Y. Yamaoka[4], K. Minoshima[2,3], and T. Yasu[i1,2]

E-mail: yasui.takeshi@tokushima-u.ac.jp https://femto.me.tokushima-u.ac.jp

光音響イメージングは、光と超音波のハイブリッドなイメージング法であり、高空間分解能と分子選択性を特徴とする光の特性と、生体深部観察を特徴とする超音波の特性を両立させる生体イメージング法として期待されている[1]。しかし、従来型の電気的トランスデューサーでは、感度/周波数応答/電磁誘導ノイズに対する脆弱性などにより、検出感度が制限されていた。電気的トランスデューサーの制限を回避するため、光学的トランスデューサー[2-4]に関する研究も精力的に行われており、電磁誘導ノイズに対する脆弱性は大幅に改善されているが、感度や周波数応答に関しては、必ずしも十分と言えなかった。

我々は、新しい光学的トランスデューサーとして、光周波数コムの利用（センシング RF コム）を提案している[5]。光周波数コムを光検出器で自乗検出すると、極めて狭線幅で安定な RF 周波数モード列から構成される RF コムが観測される。一方、ファイバー光コム共振器の損失外乱として超音波が相互作用すると、RF コムモードが強度変調される。この強度変調サイドバンド信号を用いた超音波計測をこれまでに報告している[6]。今回は、ナノ秒パルスレーザーによって誘起した光音響波の検出を報告する。

図 1 に実験装置を示す。リング型モード同期 Er ファイバーレーザー共振器を構築し、非線形偏波回転によりモード同期動作を得た（λ_c=1550nm, f_{rep}=26MHz）。レーザー出力を光検出器（InGaAs-PD）で検出し、f_{rep} 周波数安定化制御系と超音波計測系に分岐させる。f_{rep} 周波数安定化制御系により、f_{rep} が基準信号に位相同期される。ファイバー共振器の一部をセンシング部として、光音響波（周波数=f_s）と相互作用させると、ファイバー共振器の微小損失変調による強度変調が誘起され、$f_{rep}\pm f_s$ のサイドバンドが発生する。f_{rep} 周波数安定化制御系では、制御帯域制限のため、$f_{rep}\pm f_s$ の信号を補正できないので、超音波計測系において、このサイドバンド信号と f_{ref} (=f_{rep})をミキシングすることで、周波数 f_s の超音波信号を抽出する。

今回は、ナノ秒 Q スイッチパルスレーザー（波長 532nm、パルス幅 8nm、繰返し周波数 200Hz、平均パワー30mW）をレンズで黒色ゴムに集光し（ビーム径 1.7mm）、光音響波を発生させた。図 2 は、センシング RF コムで計測された時間波形を示している。パルス幅 76ns、スペクトル帯域 2.2MHz の光音響波を検出できていることが分かる。

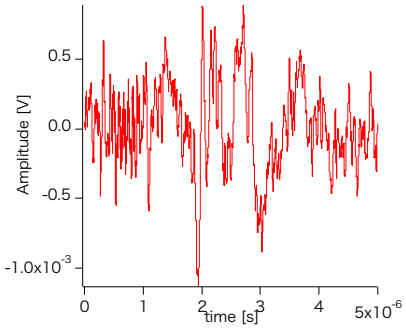

図 2　RF コムで計測された光超音波信号の時間波形

本研究は、JST, ERATO 美濃島知的光シンセサイザプロジェクトの助成を受けた。

[1] L.VX. Wang et al., Science **335**, 1458–1462 (2012).
[2] G. Rousseau et al., J. Biomed Opt **17**, 061217 (2012).
[3] J. Boneberg et al., Appl. Phys. A **69**, 557-560 (1999).
[4] H. Li et al., Scientific Reports 4, 4496 (2014).
[5] T.minamikawa, et al., (submitted)
[6] T.masuoka et al. ICO-24, P3-04 ,Tokyo (Aug. 2017)

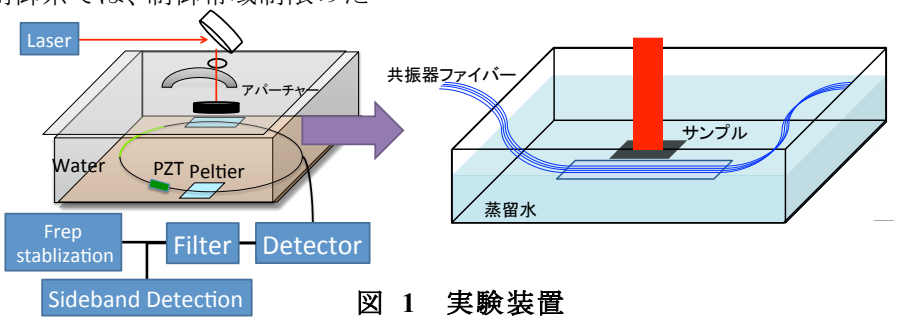

図 1　実験装置