

連結ボトル共振器を用いた液中オプトメカニカルプローバの質量分解能

Mass resolution of a liquid optomechanical probe using a twin-microbottle resonator

NTT 物性基礎研 浅野 元紀[○], 山口 浩司、岡本 創

NTT Basic Research Labs., [○]Motoki Asano, Hiroshi Yamaguchi and Hajime Okamoto

E-mail: motoki.asano@ntt.com

光共振器と機械振動子との結合構造を有するオプトメカニカル素子は、機械共振特性の変化を高 Q 値光共振器によって読み取ることで、高感度センサとして機能する [1]。これらを液中で動作させることで、液中の微粒子が機械振動子に付着することによる微小な質量変化を、機械共振周波数の変化から検出することができる。この超高感度質量検出技術は、タンパク質やウィルスといった極限的に小さな質量変化を対象とするバイオセンシングに適用可能であり、マイクロディスクなどのオンチップ素子において実証されてきた[2]。一方我々は、このようなオンチップ型素子とは大きく異なり、任意液体の所望の位置で動作させることが可能なプローブ型のオプトメカニカル素子を提案し、その基本特性について前回講演で報告した。本講演では、この素子の質量検出感度について、振動周波数の安定性より評価した結果を報告する。

本素子は、2つのボトル形状が連結した構造となっており、片側のボトルを水に挿入し、もう片側のボトルに細線化光ファイバを接触させることで、水中に跨る結合振動モードの光読出が可能となる (図 a)。また、振動周波数で強度変調したレーザー光を光共振させることで、放射圧を介した振動励振も可能になる。これら振動読出・励振を2系統のレーザーによって組み合わせることで、振動周波数を精密に追跡可能な位相同期ループを構築した (図 b)。ロックインアンプを用いて振動の位相情報から振動周波数を推定し、推定した周波数によって振動励振用レーザー光を強度変調することで、振動周波数の精密なリアルタイム追跡を実現している。ここで測定した振動周波数の時間揺らぎから、振動子の周波数安定性、すなわち Allan 分散を評価した (図 c)。得られた Allan 分散値と振動子の有効質量より [3]、本素子で検出可能な質量下限値が 8.6×10^{-12} g (単一バクテリアの質量に相当) であることを明らかにした[4]。振動検出 S/N 比の改善やフィードバックバンド幅の最適化による Allan 分散の削減、素子の小型化による有効質量の低減によって更なる質量分解能の改善が期待できる。本研究は JSPS 科研費 JP21H01023 の助成を一部受けたものです。

[1] M. R. Foreman *et al.*, Adv. Opt. Photon. 7, 168 (2015)

[2] E. Gil-Santos *et al.*, Nat. Nanotech. 15, 496 (2020).

[3] M. Sansa *et al.*, Nat. Nanotech. 11, 552 (2016).

[4] M. Asano *et al.*, Sci. Adv. 8, eabq2502 (2022).

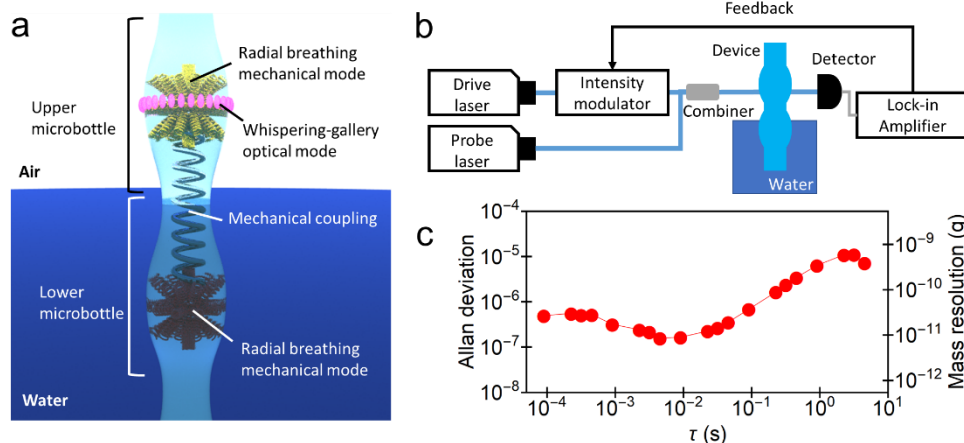


Fig. a: Conceptual illustration of a twin-microbottle resonator. Fig. b: Schematic of a phase-locked loop. Fig. c: Allan deviation and mass resolution with respect to integration time.