

アクティブノイズ低減による高感度近接場オプトメカニカル測定

Highly sensitive optomechanical near-field detection with active noise reduction

NTT 物性基礎研 °佐久間涼子, 浅野元紀, 山口浩司, 岡本創

NTT Basic Research Labs, °Ryoko Sakuma, Motoki Asano, Hiroshi Yamaguchi, Hajime Okamoto

E-mail: ryoko.sakuma@ntt.com

光キャビティを用いた近接場オプトメカニクスは、光近接場を介した光共鳴周波数の変化から微小機械振動子の高感度変位計測を可能にする[1]。特に、微小シリカ球をプローブ型の光キャビティとして用いた近接場振動計測は、光キャビティと構造的に独立した振動体に適用できることから、同チップ上での作製が困難な構造や材質の振動子特性を評価できる汎用性を併せ持つ[2]。しかし、光キャビティと独立な機械振動子から構成される近接場オプトメカニクス測定では、測定系の揺らぎ、特にキャビティと振動子のギャップ間隔の揺らぎによるノイズフロアの上昇が課題であった[3]。本研究では、低周波ノイズを低減させるアクティブノイズコントロールを適応し、ノイズレベルの圧縮による高感度オプトメカニカル測定を実証した。

本研究では、細線化したシリカファイバを光キャビティ($Q \sim 10^6$)に接触させることで、光をキャビティモードに結合させ、さらに SiN 薄膜振動子($50 \times 50 \times 0.03 \mu\text{m}$)を光キャビティに近接させることで、共振周波数変化から薄膜熱振動のエネルギースペクトル密度(PSD)を測定した(図(a))。測定系の低周波ノイズ($\sim 100 \text{ Hz}$)を低減するフィードバック制御回路は、位相シフトの役割を担うバンドパスフィルタ(BPF)と増幅器から構成し、検出光の AC 成分を入力信号として、フィードバック信号をナノポジショナに印加した。図(b)赤線に、フィードバック制御時(BPF: 110 Hz , ゲイン: 60 倍)の薄膜熱振動の PSD を示す。ノイズフロアは約 0.5 倍に圧縮され、低 Q 値光キャビティを用いた場合でも熱振動スペクトルが検出可能であることが示された。本手法は、測定系起因の低周波振動を相殺することにより、光キャビティのショットノイズ揺らぎを低減させる。今後、多様な微小振動に対する超高感度な計測への展開が期待できる。

本研究は、JSPS 科研費 JP23H05463 の助成を受けたものです。

[1] D. J. Wilson et al., *Nature*, 524, 325 (2015). [2] M. Asano, et. al., *Appl. Phys. Lett.*, 112(20), 201103 (2018).

[3] R. Sakuma, et. al., arXiv:2402.08179, (2024).

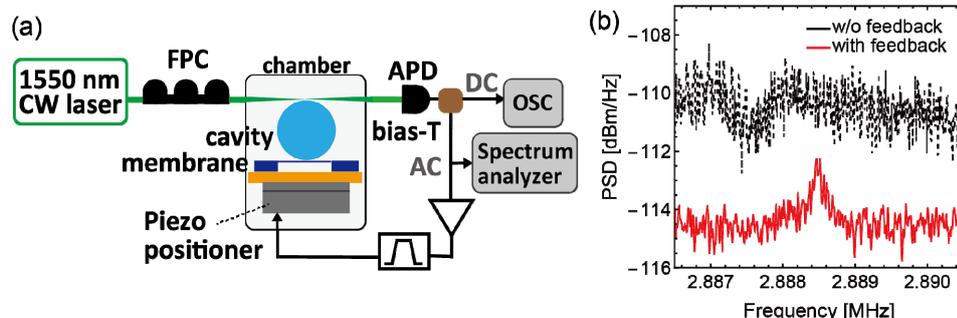


Fig. (a) Schematic representation of the active noise control in the near-field optomechanical measurement mechanism. The amplified and dephased AC output of the avalanche photodiode is applied to the nano-positioner. (b) PSDs of the thermal motion of the membrane with (red) and without (black) active noise control.