

ピコニュートン力の計測に向けた MEMS 用レーザー変位計の開発 (2)

Laser Displacement Sensor for MEMS to Measure Piconewton Forces (2)

東大生研¹, JST さきがけ² ○(D)紫垣 政信¹, 田中 嘉人^{1,2}, 佐藤 隆昭¹, 志村 努¹

IIS, the Univ. of Tokyo.¹, JST PRESTO.², Masanobu Shigaki¹, Yoshito Tanaka^{1,2}, Takaaki Sato¹,

Tsutomu Shimura¹

E-mail: shigaki@iis.u-tokyo.ac.jp

ピコニュートンオーダーの力計測は、分子間相互作用の研究やタンパク質、DNA の力学的な構造解析など、物理のみならず生体計測等にも広く必要とされている。原子間力顕微鏡(AFM)の分野では、力検出感度は一般的に数十～数百ピコニュートン程度であり、これは4分割フォトダイオード(PD)によるカンチレバーの変位検出限界値がサブナノメートルオーダーであることに起因する。そこで我々は、サブピコニュートン～数ピコニュートンの力計測技術を確認するため、マイケルソン干渉計を応用したレーザー変位計と MEMS デバイスの開発を進めている。

Fig.1 に、本研究で構築したレーザー変位計の光学系を示す。図中右下の二等辺三角形をなす光路がダブルパスマイケルソン干渉計をなしている。ピエゾステージ上のミラーが光源波長の 1/4 の距離だけ光軸方向に移動すると、PD1, PD2 で観測される光強度が干渉によって1周期分変化する^[1]。また、PD1, PD2 上の干渉信号の位相は HM-PBS 間に挿入された $\lambda/4$ 板(QWP)により互いに 90° ずれるため、下式(1)によりミラーの変位量を計算することが可能である。ここで Δx はミラーの変位量、 k は波数($=2\pi/\lambda$)、 I_{PD1} , I_{PD2} はそれぞれ PD1, PD2 で観測される光強度である。

$$\Delta x = \frac{1}{4k} \left(\tan^{-1} \frac{I_{PD2}}{I_{PD1}} \right) \dots (1)$$

次に、構築したレーザー変位計において、ピエゾステージ上のミラーを 1kHz の周波数で光軸方向へ繰り返し変位させ、その変位信号の 1kHz 成分を抽出 (ロックイン検出) し変位測定を行った結果を Fig.2 に示す。ロックイン検出の適用により、系の機械的振動が主要因となる 250Hz 以下のノイズを排除でき、大気中の常温環境で 20pm_{p-p} の変位振幅が可能なことを確認した。今後、0.01N/m 程度のばね定数をもつ MEMS の設計・試作を進め、構築したレーザー変位計と組み合わせることで、サブピコニュートン～数ピコニュートン領域の力計測実験を進めていく予定である。

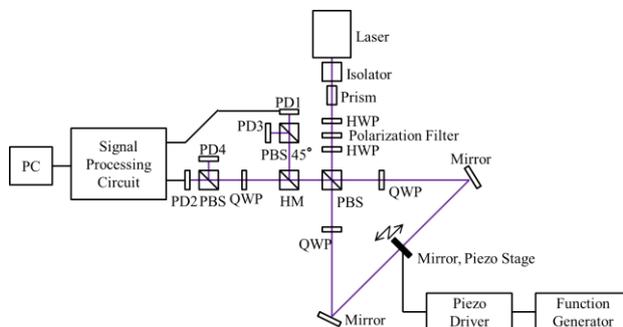


Fig. 1. Optical system of the laser displacement sensor.

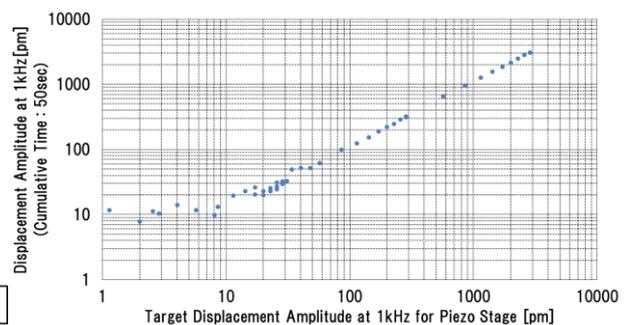


Fig. 2. Displacement measurement results with a mirror on a piezo stage by Lock-in detection.

[1] 田宮英明, "pm 分解能非接触変位計", 2012 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp. 1013-1014.