

強制振動型ナノ CMM レーザトラッピングプローブの基本特性

大阪大学大学院工学研究科 ○高谷裕浩, 今井敬次郎, 河 兌坪, 三好隆志

要 旨

マイクロ部品を対象とした, nm オーダの精度を持つ3次元座標測定機(ナノ CMM)の位置検出プローブとして, 集光レーザービームによってトラップされた微粒子を数十 nm の振幅で強制振動させる, 新たな強制振動型ナノ CMM レーザトラッピングプローブを提案している. 100Hzの横方向振動を与えたプローブ球を測定対象に接近させ, 振動振幅信号の変化を検出することによって, 25nm 以上の高精度な位置検出分解能を有することを示した.

1. はじめに

近年, 半導体微細加工や超精密機械加工技術の急速な発展によって, 高精度なマイクロ部品の製作が可能になってきている. それに伴い, 3次元マイクロ形状を対象としたナノ CMM の開発が急務の課題となっている. 筆者らは, レーザトラップにより大気中に捕捉された微粒子をナノ CMM の位置検出プローブとして用いることを提案し, その位置検出能の検討を行ってきた. 本報では, 新たな強制振動型ナノ CMM レーザトラッピングプローブを開発し, プローブ球の横方向振動を試み, 振動振幅信号の変化に基づいた位置検出特性を調べたので報告する.

2. 強制振動型プローブの原理

強制振動型ナノ CMM レーザトラッピングプローブの位置検出原理は, 大気中で3次的に保持された真球度の高い直径数 μm の微粒子に強制振動を与え, プローブ球が物体に近接したときの振幅や周波数など振動状態の変化によって位置検出を行うものである. また, 光軸方向と横方向の振動を組合せることによって, 図1に示すように, 傾斜の小さな測定面に対しては光軸方向の振動, 傾斜の大きな測定面に対しては横方向の振動変化か

ら, 3次元位置座標を検出することが可能となる. さらに, 振動検出信号と熱ゆらぎの影響によるノイズとの分離によって高い S/N 比が得られ, ナノメートルオーダの位置検出分解能が達成できる可能性を有している.

3. 実験装置の構成

図2に実験装置の概略を示す. 微粒子捕捉光源である Nd:YAG レーザ(波長 1064nm)は2軸(図中 xy 方向)の音響偏向素子(AOD)に入射後, 倍率4倍のリレーレンズ系 L1, L2 を通過し, 対物レンズにより集光される. リレーレンズ系により, AOD の偏向中心と対物の後側開口面は共役な関係となり, 対物への入射光量は常に一定となる. レーザトラップにおいて, 微粒子はビームスポットへと引き寄せられるので, AOD によるビームスポットの焦点面内振動により, プローブ球の横方向振動を発生させることができる. 振動状態のモニタには He-Ne レーザ(波長 632.8nm)を用いる. He-Ne レーザ光は偏光ビームスプリッター(PBS)により YAG と同軸にされた後, プローブ球に照射される. プローブ球によって散乱された He-Ne レーザ光と Nd:YAG レーザ光の一部はミラーを透過し, 装置上方へと到達するが, He-Ne 光透過干渉フィルタ(Interference filter)により波長 632.8nm の光

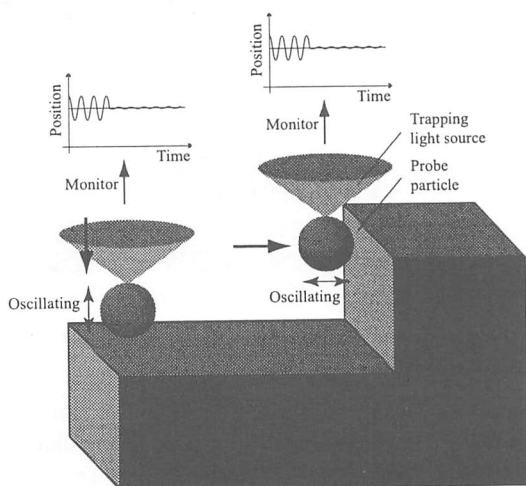


図1 振動型プローブの位置検出原理

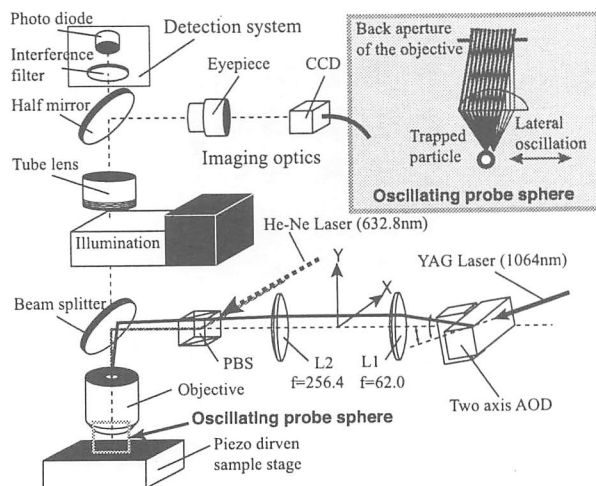


図2 実験装置の構成

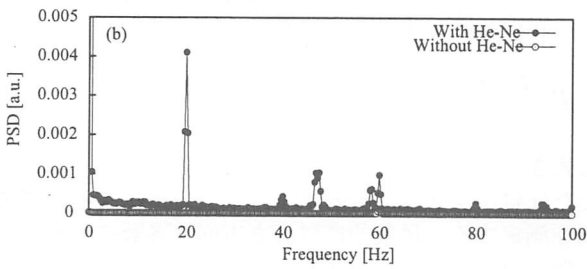
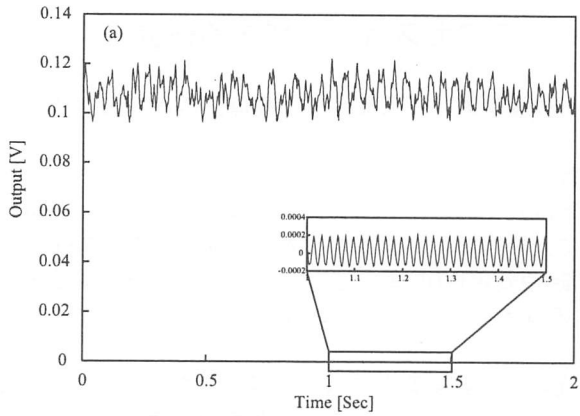


図3 20Hzの励振によるプローブ球横振動の検出, (a) 時間軸信号, (b) パワースペクトル

以外はカットされ、フォトダイオード(Photo diode)により受光されて、振動検出信号となる。プローブ球は直径 $8 \mu\text{m}$ シリカ球を用いており、プローブ球の試料に対する3次元操作は、ピエゾステージ(移動分解能 5nm)によって試料を相対的に移動させて行う。

4. 強制振動特性

まず、プローブ球の横方向振動(図2 x軸方向)を試みた。振動検出信号の確認を容易にするため、ビームスポットの振動振幅は 410nm と大きめに与え、励振振動数は 20Hz とした。振動検出信号の時間軸変化およびそのパワースペクトルをそれぞれ図3(a)および(b)に示す。図3(a)よりプローブ球の横方向振動が確認され、さらに、図3(b)の 20Hz のピークがAODに与えた励振振動数と一致していることがわかる。なお、 45Hz 付近と 60Hz にピークが見られるが、これは励振を行わない場合にも見られることから、He-Neレーザー固有のノイズであると考えられる。さらに、励振振動数を 100Hz とし、その振幅を変化させた。このときの信号振幅をプロットしたものを図4に示す。図中実線は振動振幅(理論値) 8.28nm から 248nm までのデータに対する最小自乗フィッティングを行ったものである。これより 250nm 程度までは線形性が保たれることがわかる。この線形近似の適用限界はHe-Ne位置検出光源のスポット径とほぼ一致する。

5. 位置検出基礎実験

次に、位置検出基本特性を調べるため、測定対象(直径 $168 \mu\text{m}$ のマイクロガラス)へ接近したときの振動検出信号を測定した。振動方向をX軸方向(図5)、ビーム

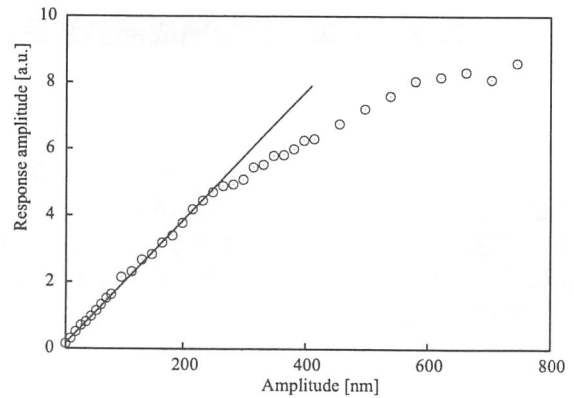


図4 励振振幅と振動検出信号の出力の関係

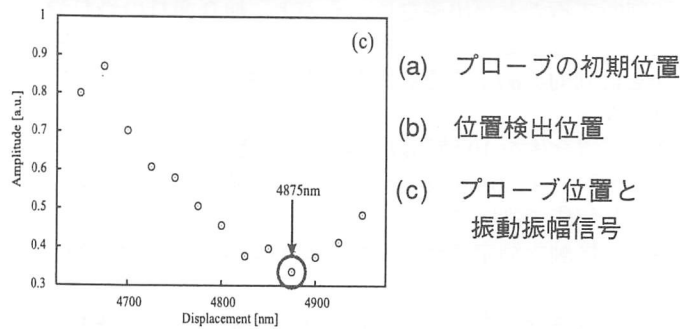
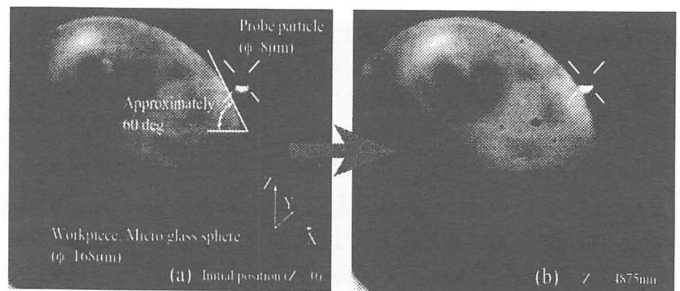


図5 振動型プローブの位置検出原理

スポットの振動振幅 41nm 、励振振動数 100Hz に設定し、図5(a)に示す初期位置よりX軸方向に 25nm ステップで、 60 度の傾斜面に対して接近させた。それぞれの位置に対する振動検出信号のパワースペクトルをとり、振動振幅に相当するピーク高さの推移を図5(c)に示す。これより、振動振幅がほぼ線形に減少していき、ほぼ接触した図5(b)の位置において極小値を持った後、再び増加することがわかる。以上より、極小値を取る点で位置検出とすれば、高精度な検出が行える可能性があることを示唆している。

6. まとめ

大気中において、レーザトラップされた微粒子の横方向振動を実現した。また、強制振動型プローブが、 60 度の傾斜面に対して 25nm 以上の位置検出分解能を有する可能性を示した。

参考文献

- 1) 高谷裕浩ほか, 精密工学会誌, 66, 7 (2000) 1081.
- 2) B. A. Nemet, et al. Opt. Lett., 27, 4 (2002) 264.