

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 4月 1日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760091

研究課題名（和文） マイクロ部品におけるゼロアッベ誤差の高精度3次元形状評価方法に関する研究

研究課題名（英文） Study about 3D shape evaluation method with zero Abbe error for micro parts

研究代表者

巖 祥仁 (EOM SANG IN)

東京工業大学・精密工学研究所・助教

研究者番号：20551576

研究成果の概要（和文）：

本研究では光ファイバを用いてトラッピングしたマイクロ球をプローブとして利用するナノCMMを提案している。光ファイバトラッピングプローブでは光ファイバの先端から出射する光がプローブとして利用するマイクロ球をとらッピングする。また、光ファイバ先端から再入射する光の光量変化がプローブ接触信号として使われる。このような光量変化はプローブが測定対象の表面に接触すると生じるプローブ球と光ファイバ先端からの相対的な位置ずれにより発生する。シミュレーションにより設計した光ファイバを用いて行った実験では光ファイバトラッピングプローブが測定対象と接触するときのプローブ信号の変化が検出できた。また、その信号変化の原因をシミュレーションにより明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

A novel probing technique for nano-CMM (Coordinate Measuring Machine) is suggested. In this technique, a micro sphere is trapped optically at the tip of the tapered shape of a single optical fiber and used for a touch probe for the nano-CMM. In order to use the trapped micro sphere for the touch probe, intensity changes of the reentered light that is reflected from the surface of the micro sphere and object are used for the probe signal. When the probe is in contact with the surface of the object, the probe position is decentered from the tip of the optical fiber and the intensity of reentered light is changed and used for probe signals. In experiments, the intensity changes are detected by a power meter and applied to be used as the probe signal. Mechanisms of intensity changes are discussed briefly.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2011年度	1,170,000	900,000	2,070,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,570,000	1,620,000	5,190,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：精密位置決め・加工計測

1. 研究開始当初の背景

nano-CMM の概念は微小 3 次元形状の精度評価のため高増らから提案された後、日本、ヨーロッパ、台湾等の世界中で活発に研究されている。このような nano-CMM 用のプローブ技術として高谷らは高 NA レンズを用いて集束した光の放射圧からマイクロ球を光放射圧でトラッピングし nano-CMM のプローブとして利用するレーザートラッピングプローブを提案している。レーザートラッピングプローブはプローブのサイズが直径 $10\mu\text{m}$ 以下であり、今まで提案されている手法の中で最も小さいし、接触力が pN レベルの非常に小さい等といった nano-CMM に適切な特徴を有するが、急峻な斜面や深穴などの複雑な形状を持つ測定対象に適用するには、測定対象自体により集束光が遮られ、トラッピング状態を維持するのが困難である問題点がある。この問題点の解決方法として、急峻な斜面や深穴などの形状にも適用できる光ファイバトラッピングプローブが提案されている。この手法では高 NA レンズと同様な電磁場分布を生成する光ファイバの先端形状をデザインし、その光ファイバ先端にマイクロ球をトラッピングしてプローブとして利用する。光ファイバを用いることで光が遮られる恐れをなくし、急峻な斜面や深穴などの形状にも適用できるようになる。しかし、提案している手法ではプローブの接触信号として光ファイバ先端から再入射する光を利用するが、この信号の強度が極めて微弱であるのでプローブの接触を検出するのが難しい。この問題点を解決することで、より高性能な光ファイバトラッピングプローブの製作が可能になると考えられる。また CMM を用いた測定には、常に問題点になるアッペ誤差は、移動ステージの底面及び側面に静電容量センサーを設置し、ステージ移動による生じる微小角度変位の静電容量センサーを利用して測定した距離から角度を求め、ステージの微小角度変位を測定、補正することで、アッペ誤差をゼロにする。

2. 研究の目的

本研究では、急斜面や高アスペクト比構造を持つマイクロ部品の形状評価方法の開発を最終目標として、光ファイバトラッピングプローブを搭載したアッペ誤差をゼロにする高精度高汎用性 nano-CMM を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

高精度高汎用性 nano-CMM を開発するためにはプローブの性能向上の重要である。特に、開発する nano-CMM のプローブとして搭載する光ファイバトラッピングプローブでは光

ファイバの先端から出射する光がプローブとして利用するマイクロ球をとらッピングする。また、光ファイバ先端から再入射する光の光量変化をプローブ接触信号として使われるので、最適な光ファイバ先端の形状の設計が必要である。そこで、本研究では光ファイバ先端近傍の微細領域および光ファイバトラッピングプローブから測定対象の表面までの広い測定領域に対して、電磁場分布および光路が計算可能なシミュレータを FDTD(Finite-difference time-domain)法と光線追跡法を用いて作成し、それぞれの領域に対してシミュレーションを行い、光ファイバトラッピングに最適な光ファイバ先端形状や光ファイバトラッピングプローブの信号変化の特性を計算し、その結果を実験に反映し、最適な光ファイバ先端形状を設計する。また、プローブ球と測定対象が接触するときの信号変化の原因をシミュレーションにより明らかにする。

4. 研究成果

(1) 光ファイバ先端形状の設計

光ファイバ先端近傍の微細領域において FDTD 法とマクスウェル応力を利用して光ファイバ先端から出射する光がマイクロ球をトラッピングする力をシミュレータにより計算する。また光ファイバ先端形状を変化しながら繰り返しトラッピング力を計算した結果、光ファイバトラッピングに最適な光ファイバ先端形状として光ファイバ先端のテーパ角が 42° であることが計算できた。図 1 に FDTD 法により計算した光ファイバ先端の電磁場分布の一つの例を示す。

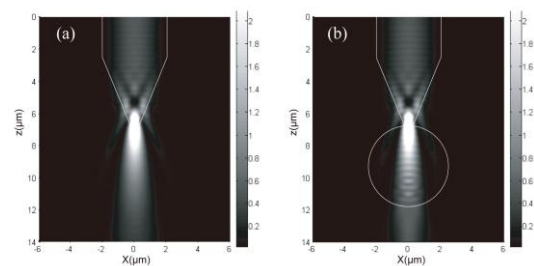


Fig. 1 Distribution of the electromagnetic field in the vicinity of the fiber tip: (a) without probe sphere and (b) with probe sphere

(2) 測定実験

設計した先端形状に基づき製作した光ファイバを用いて、光ファイバトラッピングおよび、トラッピングしたマイクロ球をプローブとして利用する測定実験を行った。図 2 に実験装置の概略図、図 3 にマイクロ球をトラッピングし測定対象に接触実験を行う様子、図

4 にプローブを測定対象に接触したときのプローブ信号変化を測定した結果の例を示す。図4に示すように、プローブ球が測定対象に接触するとプローブ信号の変化が起きるのが確認できた。このプローブ信号変化はプローブ球が測定対象の表面に水平または垂直方向から接近すると信号強度が強くなり、プローブが測定対象の接触した後は信号強度が弱くなるのが確認できた。このような信号変化を用いてプローブと測定対象の接触有無を判断することができる。

(3) プローブ信号変化の解析

光ファイバトラッピングプローブが測定対象の表面に接触した後のプローブ信号強度が弱くなるのはトラッピングしたマイクロ球と光ファイバ先端の相対的な位置変化によりマイクロの表面から反射し、光ファイバ先端に再入射する光の光量が減少するのが原因であると考えられる。また、プローブが測定対象の表面に接近するときプローブ信号の強度が強くなるのは図5に示すように、光ファイバ先端から出射した光が測定対象の表面から反射し、その反射光の一部が光ファイバ先端に再入射したのが原因であると考えられる。このようにプローブ信号強度が

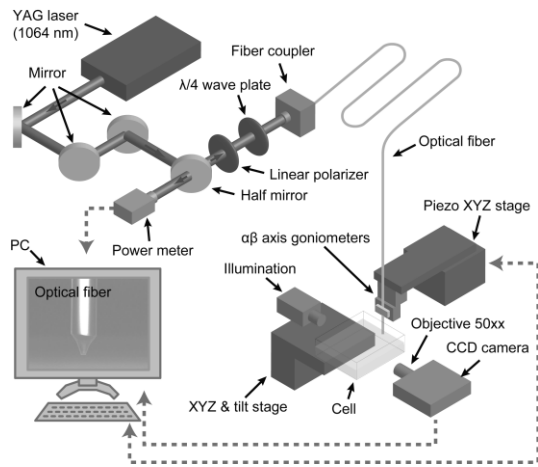


Fig. 2 Schematic diagram of experimental setup

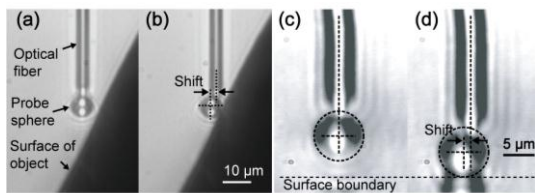
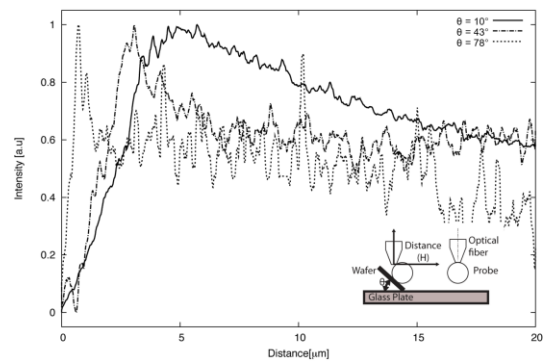
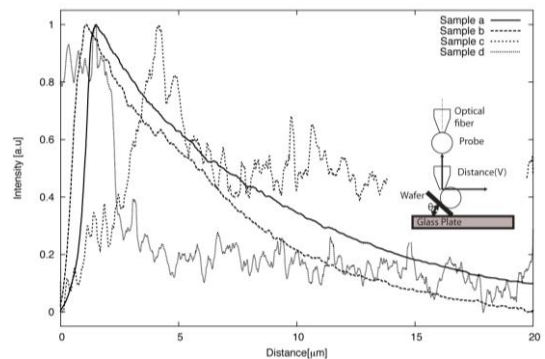


Fig. 3 Probe touching - (a) before and (b) after horizontal touching, and (c) before and (d) after vertical touching

強くなる原因を明らかにするため、光ファイバトラッピングプローブの先端近傍から測定対象の表面までの広い測定領域に対して、光線追跡法を用いてシミュレーションを行い、光ファイバトラッピングプローブの信号変化を計算した。図6にシミュレーションにより追跡した例を示す。また、図7にこのシミュレーションにより計算した、光ファイバトラッピングプローブが測定対象に接近・接触するときのプローブ信号の強度変化を示す。図7のシミュレーション結果は図4に示した実験結果と定性的な傾向が一致するので、この結果によりプローブ信号強度が強くなる原因が明らかになった。



(a) Horizontal approaches



(b) Vertical approaches

Fig. 4 Intensity changes of probe signals

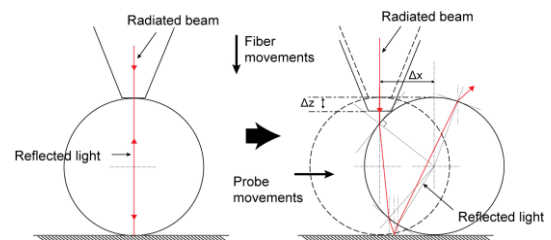


Fig. 5 Ray tracing for the chief ray before and after probe touching.

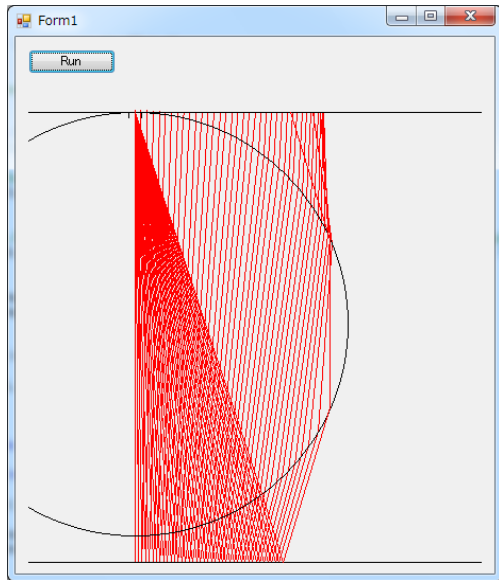


Fig. 6 Intensity calculation of reentered light

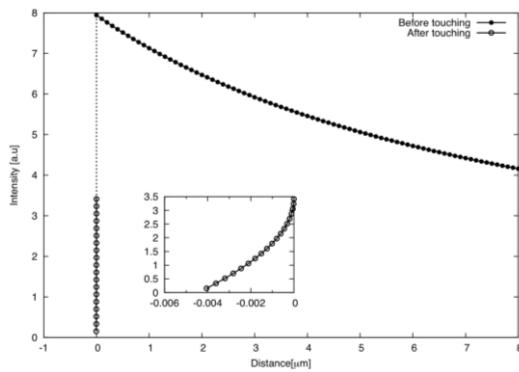


Fig. 7 Intensity changes of reentered light

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計2件)

- ① 嚴祥仁, 高谷裕浩, 林照剛, 光ファイバトラッピングプローブのプローブ感度に関する研究, 査読無, 2011年度砥粒加工学会学術講演会, 2011.9.6-9 中部大学
- ② Sang In EOM, Yasuhiro TAKAYA, Terutake HAYASHI, Study on the probe signal of single fiber optical trapping probe, 査読有, The 14th International Conference on Mechatronics Technology, 2010.11.24-26 大阪大学

6. 研究組織

(1)研究代表者

嚴 祥仁 (EOM SANG IN)

東京工業大学・精密工学研究所・助教

研究者番号：20551576