

Title	Study on the fiber optical trapping probe for nano-CMM
Author(s)	巖, 祥仁
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/49540
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	おん 厳 さん 祥 仁
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 2 2 9 3 0 号
学位授与年月日	平成 21 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科機械システム工学専攻
学位論文名	Study on the fiber optical trapping probe for nano-CMM (ナノ CMM 用光ファイバトラッピングプローブの開発に関する研究)
論文審査委員	(主査) 教 授 高谷 裕浩 (副査) 教 授 竹内 芳美 教 授 箕島 弘二 准教授 榎本 俊之

論文内容の要旨

近年, MEMS技術の発展に伴い, マイクロ部品の製作技術が発展してきた。しかしこれらのマイクロ部品の形状・寸法を3次元的に計測する技術はまだ十分に発展していない。機械部品の形状測定には一般的に3次元座標測定器 (Coordinate Measuring Machine:CMM)が用いられるが, マイクロ部品の形状測定には従来のCMMの適用はサイズ問題等により適用が困難である。そこでマイクロ部品の3次元形状測定が可能なnano-CMMが求められている。

本研究ではnano-CMMのプローブシステムを提案する。提案したプローブシステムでは特別に加工した光ファイバの先端にマイクロ球を光放射圧によりトラッピングし, 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。提案したプローブシステムは光ファイバ先端に生成された光放射圧によりプローブがトラッピングされるので

- ・直径が $8\mu\text{m}$ の微小かつ真球度が高いプローブ球を使用する。
- ・プローブによる位置検出時の接触力が非常に小さい。
- ・プローブ球は光放射場の勾配により自動的に位置合わせされる。
- ・シャドウ効果に影響されない。

という特徴を持っている。

第1章「Introduction」では研究の背景と従来のCMMそして現在行われているnano-CMMについて述べた。

第2章「Principles」では本論文に用いられる基本原理を概説した。レーザトラッピングの原理と光ファイバトラッピングプローブの概念を説明した。

第3章「Numerical analysis of the fiber optical trapping」では数値解析方法で光ファイバトラッピングの可能性を確認した。

第4章「Experiments of fiber optical trapping」では第三章の結果を実験的に検証した。光ファイバを用いてマイクロ球をトラッピングすることが可能であることを実験的に検証した。

第5章「Improvements of experimental setup」では第四章で使った実験装置を改良し, 光ファイバトラッピングプロ

ーブの実験装置を構築した。

第6章「Fundamental experiments for the signal detection」では光ファイバを用いてトラッピングしたプローブ球をプローブとして利用するための基礎実験を行った。

第7章「Probe signal analysis」では光ファイバトラッピングプローブを実現するためのプローブ信号の解析を行った。

第8章「Fundamental experiments of the measurement」では第七章の結果に基づき測定サンプルの表面を測定した。

第9章「Conclusion」では各章から得られた結果を総括した。

論文審査の結果の要旨

近年, MEMS技術の発展に伴い, 高いアスペクト比形状をもつマイクロ部品の製作技術が発展してきた。しかし一方、これらマイクロ部品の形状・寸法を3次元的に計測する技術はまだ十分に確立されているとは言えない。そのため, マイクロ部品の3次元形状測定が可能なnano-CMM (Coordinate Measuring Machine: CMM)が求められている。本論文では, nano-CMMのプローブとして, シミュレーション解析に基づいて設計したテーパ型光ファイバの先端にマイクロ球を光放射圧によりトラッピングし, 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, 光ファイバトラッピングプローブの基本原理解を提案し, その有効性について検証した。主な成果を要約すると以下の通りである。

- (1) FDTDシミュレーション解析から単一のテーパ型光ファイバ先端にマイクロ球を光放射圧により3次元的にトラッピングすることが可能であることを示した。
- (2) シミュレーション解析結果に基づいたテーパ型光ファイバを設計・試作し, 単一の光ファイバ先端に発生する光放射圧によるマイクロ球の3次元トラッピングを実現した。
- (3) 光ファイバに再入射する光強度を検出する光学系を構築し, トラッピングしたマイクロ球が被測定物体に接近する際における, 再入射光強度の変化を検出することに成功した。
- (4) 製作した光ファイバトラッピングプローブは, 被測定物体表面の傾斜角度が大ききときには横方向からの, また小さいときには縦方向からのプローブアプローチによる測定感度が高いことを明らかにした。さらに繰り返し測定実験によって, 繰り返し精度が77nmであることを示した。
- (5) 検出した再入射光の変化を解析し, 信号変化をプローブ球の接触信号として利用することが可能であることを示した。さらにその信号を用いて, 被測定物体表面の3次元的な位置を測定し, 提案した光ファイバトラッピングプローブの有効性を示した。

以上のように, 本論文は, これまで有効な手法がなかった高いアスペクト比形状をもつマイクロ部品の3次元形状測定に必要なnano-CMM用プローブの開発を目的として, 光ファイバトラッピングプローブを提案し, 本プローブの実現可能性と基本特性について, 理論・実験の両面から検討を行ったものである。その成果は, 特に高いアスペクト比形状をもつマイクロ部品の3次元形状評価手法としての有効性を示すものであり, 精密工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。