

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 6 月 13 日現在

機関番号：14401

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22860034

研究課題名（和文）

微小球共振器を用いた 3 次元微細形状計測用マイクロプローブに関する研究

研究課題名（英文）

Microsphere resonator based micro-probe for 3-dimensional coordinate metrology

研究代表者

道畑 正岐 (MICHIHATA MASAKI)

大阪大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：70588855

研究成果の概要（和文）：部品サイズが数 mm 以下の構造物形状を計測評価可能な超高精度座標測定器(CMM)のための表面検出プローブの開発が急務である。本研究では、微小球共振(WGM)を用いた新原理を提案している。プローブ開発の基礎的研究として、プリズムもしくはテーパファイバを用いて WGM を発生させる装置の構築を行った。また、WGM プローブによる表面検出の分解能を検証するための装置の構築を行った。

研究成果の概要（英文）：In order to measure the objective in size below a few millimeters, the nano-coordinate measuring machine (CMM) is highly required. Since the surface sensing probe is a key device for the nano-CMM, we proposed a new probe principle based on the whispering gallery mode (WGM) resonance. For the fundamental experiments, the equipments to generate WGMs with either a prism surface of a tapered optical fiber were developed. Beside, the equipment to evaluate the surface sensing resolution of the WGM probe was developed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,260,000	378,000	1,638,000
2011 年度	1,160,000	348,000	1,508,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,420,000	726,000	3,146,000

研究分野：計測工学

科研費の分科・細目：生産工学・加工学

キーワード：微小球共振、NSOM、マイクロプローブ、光カップリング

1. 研究開始当初の背景

マイクロ加工技術によって、部品サイズが数 mm 以下の構造物の製造が実現されている。しかし、それらの計測評価技術の整備は十分でない。そこで、3 次元形状を評価可能な超高精度座標測定器(CMM)の開発が急務である。これまでに開発された超高精度 CMM の測定不確かさは 100nm 程度に達するが、マイクロ部品の測定評価には測定不確かさ 50nm 以下が求められる。その改善の要となるのが、

測定物表面位置を検出するプローブシステムである。

2. 研究の目的

そこで本研究は超高精度 CMM マイクロプローブシステムを目指すものである。本プローブシステムの基本構成は、光ファイバ($\phi 3\mu\text{m}$)の先端に直径 $5\mu\text{m}$ のシリカ球を接続したものである。光ファイバに入射した光が伝播し、端面の開口でエバネッセント光を

発生させる。エバネッセント光がプローブ球に入射する。ここで、プローブ球が微小球共振器として働き、球の内部で **Whispering gallery mode (WGM)** 共振が生じる。プローブ球内部で光は全反射を繰り返すため、プローブ球の表面には3次元全方向にエバネッセント光が局在する。エバネッセント光の有効範囲は波長程度であるため、プローブ球が測定面の極近傍に接近すると、局在エバネッセント光が散乱し、球内の光エネルギーが解放される。この時の光エネルギーの損失を、光ファイバの戻り光強度で観測することによって、表面の位置を検出する。

これらの原理を用いたプローブシステムを構築するために、まず、**WGM** を球内に発生させるシステムおよびそれを検出するシステムの構築を行うことを本研究の目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、始めに、微小球共振器へ光を入射させ、球内部で **Whispering Gallery Mode(WGM)** という光伝搬を起こす必要がある。また、その **WGM** が発生した微小球に発生している近接場によって、どの程度の分解能で表面が検出可能であるかを検証する。

その基本的な原理の検証として、本研究ではまず、従来の方法で **WGM** を発生させる。①プリズム表面で発生する近接場を用いて微小球内で **WGM** を発生させる。しかし、その方法では高い効率が得られなかったため、②テーパファイバを用いて微小球内に **WGM** を発生させる装置の開発を行った。次に、③ **WGM** を発生させた微小球の表面近傍に物体が接近した時の散乱光の状態等を検証するための、基本的な装置を校正した。

4. 研究成果

WGM を発生させるため、以下の様な装置を構築した (図 1, 2)。

光源には半導体レーザを用いて、励起電流の調整により発振波長を変化させる。プリズム表面に 45° 入射し、表面で全反射をおこすことで、プリズム表面でエバネッセント光を発生させた。その表面に、別のステージに固定された微小球 (ガラス棒先端を熔融して作製した球) を接近させ、球内部に光をカップリングする。その時の様子をプリズムの反射光を分光計で測定し、**CCD** を用いた上面観察系により観察する。実験装置の概要を図 1 に、写真を図 2 に示す。実験に用いたガラス球の顕微鏡写真を図 3 に示す。今回は約 $30\mu\text{m}$ 程度の直径のガラス球を用いた。

次に、図 4 にそのガラス球で発生させた **WGM** の観測の様子を示す。横軸は入射項の状態を分光計で測定した波長、縦軸は各波長に対して、**CCD** で測定した球表面で散乱する

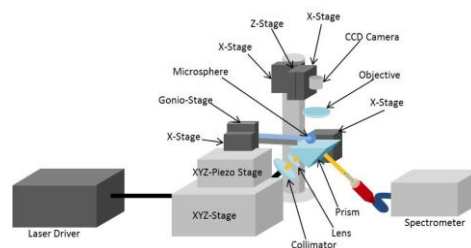


図 1 : On-prism の WGM 発生装置概要

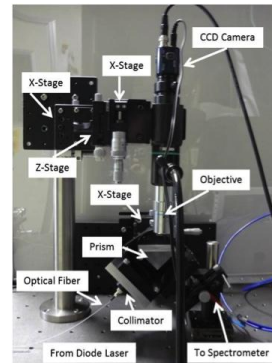


図 2 : On-prism の WGM 発生装置

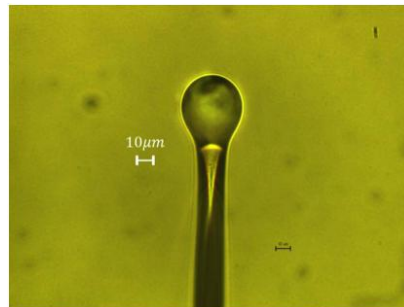


図 3 : 用いたガラス球

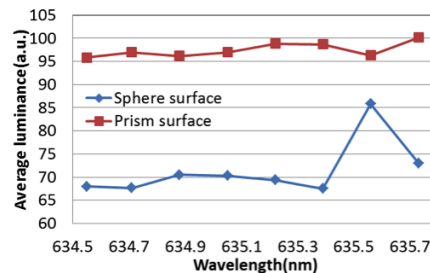


図 4 : WGM の実験結果

光量である。635.6nm 辺りで光量が大きくなっていることがわかり、**WGM** の発生が確認出来る。また、この波長を用いて球の直径を見積もると $34.1\mu\text{m}$ 程度であった。しかし、その SN 比は低く、分光計の分解能も十分ではなかった。

そこで、**WGM** の効率的な発生を行うため、テーパファイバを用いたガラス球への光入射を行った。装置の概要を図 5 に示し、入射の **CCD** 画像を図 6 に示す。

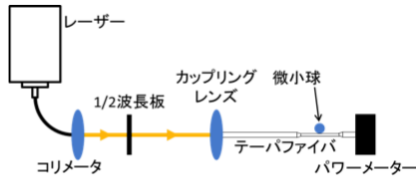


図 5：テーパファイバ WGM 発生装置概要

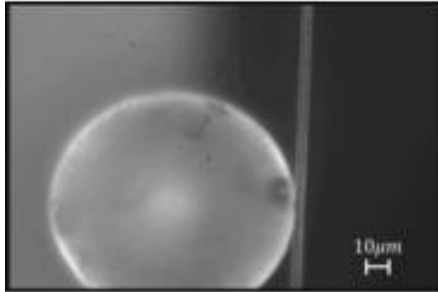


図 6：光入射の様子

本実験では、光源には波長可変レーザを用いた。1500±25nm で波長を変更でき、その分解能は 20pm である。その光源をテーパファイバに入射し、そのテーパファイバ表面で発生させるエバネッセント光によって、微小球へ光を結合する。その時の様子を図 6 に示す。テーパファイバへの入射光量を I_i とし、テーパファイバのもう一つの端面から射出される光量を I_o とする。 I_i に対して I_o が低い場合、光は微小球内に結合され、WGM が効率的に発生する。しかし、本実験では、現状 10% 以下の効率しか得られておらず、原理の更なる理解と装置の改善が必要である。

一方で、この WGM によって微小球表面に発生させた近接場光によってどの程度の位置検出分解能が得られるのかを測定するための装置を構築した。

図 1 で構築した近接場光の発生装置を代用し、そこに先端を 500nm に先鋭化されたタングステンプローブでエバネッセント光を散乱させ、光電子増倍管での受光時にロックイン検出を導入することで、近接場光を高感度に検出する。その装置図の概要を図 7 に、写真を図 8 に示す。

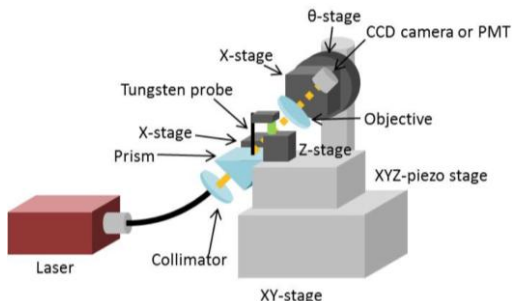


図 7：近接場検出装置概要

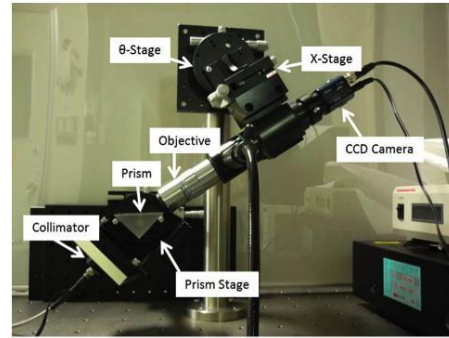


図 8：近接場検出装置写真

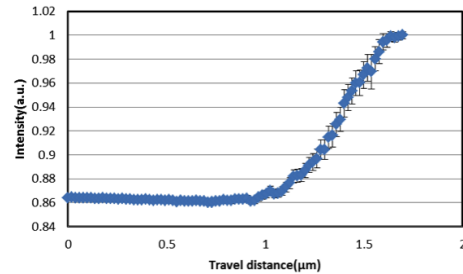


図 9：近接場検出結果

図 9 に本装置を用いてプリズム表面に発生させた近接場の検出を行った結果を示す。横軸はタングステン針の移動量で、右に行くほどプリズム表面に接近している。その時に散乱光量が縦軸である。図に示すようにタングステン針がプリズムの表面近傍では高い散乱光が観測されており、近接場光を高分解能に検出可能であった。今後は、本装置を用いて WGM プローブの分解能を評価することを予定している。

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 市川雄一, 林照剛, 高谷裕浩, 道畑正岐 : "WGM 共振を用いたマイクロ粒子における真球度評価の基礎的研究", 2010 年度日本機械学会関西学生会卒業研究発表講演会, 2011 年 3 月 18 日, 京都工芸繊維大学
- ② 峨家諒介, 林照剛, 高谷裕浩, 道畑正岐 : "微小球共振器を用いた位置検出マイクロプローブのための基礎的研究", 2010 年度日本機械学会関西学生会卒業研究発表講演会, 2011 年 3 月 18 日, 京都工芸繊維大学

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計◇件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

道畑 正岐 (MICHIHATA MASAKI)
大阪大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：70588855