

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：37115

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420040

研究課題名(和文) レーザ誘起液中マイクロ衝撃波を用いた超精密・微細・複雑形状部品の微小表面改質加工

研究課題名(英文) Micro surface modification processing for ultra-precision micro and complex parts by laser induced under solution shockwave

研究代表者

澁谷 秀雄 (SHIBUTANI, Hideo)

久留米工業大学・工学部・准教授

研究者番号：80303709

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では高精度・微細・複雑形状部品の表面品質・性状改善(鏡面・粗面，内部応力除去・付与，洗浄等)を行うことを想定して，レーザー誘起水中衝撃波に着目し，光ファイバーの一端に金属膜を成膜し，その金属膜部を液中に浸漬し，レーザー光はその反対端から入射することにより局所的に衝撃波を発生されるレーザー誘起液中マイクロ衝撃波発生装置の試作を行った．その結果，約3.3MPaの衝撃波が得られるとともに，その強度はファイバー端面や金属薄膜の性状に影響することが分かった．

研究成果の概要(英文)：Modification of surface quality and property, which is rough or smooth, stress relieving or adding, cleaning, for precision, micro and complex parts is assumed to do, laser induced micro shockwave under-solution generator device which is shockwave under-solution was generated by thermal expansion of thin metal film coated on optical fiber end was constructing of the basis of laser induced shockwave underwater technic. The device was generated shockwaves about 3.3MPa in pressure and it's depend on quality of optical fiber end and metal thin film coated on the end.

研究分野：精密加工

キーワード：laser induced micro shockwave

### 1. 研究開始当初の背景

近年、マイクロ・ナノメートルオーダーの形状精度を有する超精密・微細・複雑形状部品は理化学機器や医療機器のみならず、デジタルカメラ、スマートフォン、自動車など、民生品の性能を左右する核になっている。

今後、これらの部品には更なる高機能化・高性能化が求められ、高精度化・微細化・複雑形状化だけでなく、表面品質・性状改善(鏡面・粗面、内部応力除去・付与、洗浄等)も要求される。

しかしながら、機械研磨加工では工具の微小化が困難であり、微細・複雑形状の奥深くまで加工できない。エッチング加工では全面均等加工あるいは局所選択加工が生じて形状精度が劣化する。ブラスト加工では噴射可能な粒子径が数十 $\mu\text{m}$ と大きく、局所加工にはマスクが必要であるといった問題が予想される。このように既存の加工技術で解決することが困難であると考えられ、新たな加工技術の検討が必要だと考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究では上記の問題を解決する方法として、レーザー誘起水中衝撃波に着目した。

水中の金属膜に低強度のパルスレーザー光を照射するとそれを吸収した金属膜が熱によって弾性膨張し、これによって水中に衝撃波が発生する。この現象をレーザー誘起水中衝撃波という。本研究ではこの現象を基に、光ファイバーの一方端に金属膜を成膜し、その金属膜部を液中に浸漬し、レーザー光はその反対端から入射することとした。これにより、レーザー光は光ファイバー中を伝送するため、金属膜部を浸漬する液に対してレーザー光吸収特性を考慮する必要はない。すなわち、任意の液を用いることが可能である。衝撃波は液中に浸漬した光ファイバー端の金属膜より発生するため、深穴の内面や底部など通常では困難な場所でも衝撃波を発生させることが可能である。さらに光ファイバー直径と同程度の衝撃波を発生させることが可能であるといったことが考えられる。

そこで本研究では、レーザー誘起水中衝撃波の原理を基に、光ファイバーを用いることにより種々の液中で微小領域に衝撃波を照射できるようにしたレーザー誘起液中マイクロ衝撃波発生装置を試作し、その特性を調査した。

### 3. 研究の方法

図1に本研究で試作したレーザー誘起液中マイクロ衝撃波発生装置の模式図を示す。本装置では、レーザー発振器から発振されたレーザー光を集光レンズで集光し、光ファイバーの片端から導入する。導入されたレーザー光は光ファイバー中を伝送し、もう一方の端部に成膜された金属薄膜に吸収される。レーザーを吸収した金属薄膜は熱によって弾性膨張し、これによって水中に衝撃波が発生

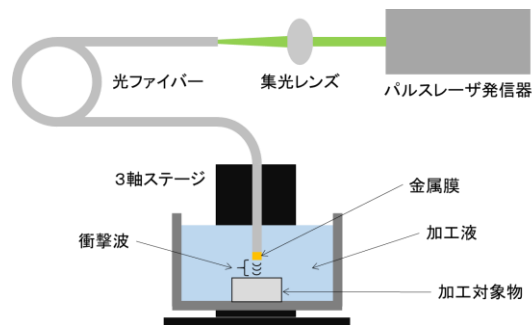


図1 レーザ誘起液中マイクロ衝撃波発生装置の概略

する。

これより、水中に発生する衝撃波は、レーザー発振器のレーザー出力や金属薄膜が成膜された光ファイバーと加工対象物の距離だけでなく、光ファイバー端面や金属薄膜の性状にも強く影響すると思われる。そこで本研究では、光ファイバー端面や金属薄膜の性状とレーザー光照射によって誘起される衝撃波との関係を調査した。

本研究では、直径1mmのプラスチック光ファイバーを用い、ホットナイフで長さ60mmに切断した。その後、両切断面を#600ラッピングフィルムを用いたハンドラッピングにて面出しを行った。その後、光ファイバー端面の研磨を行った。研磨を行うに際して、端面出しをしたプラスチック光ファイバーを十数本束ねて円盤状研磨治具に固定し、光ファイバーの端面だれを抑制するために治具底面に光ファイバーと同じ材質であるアクリル板を貼り付けて研磨を行った。研磨は鋳鉄定盤と#1000アルミナ砥粒を用いたハンドラッピングを施したのち、ポリウレタンパッドとコロイダルセリアを用いた連れ回り研磨機を行った。その際、パッド回転数は $38\text{min}^{-1}$ 、研磨時間は80minとした。

面出し直後(研磨前)および連れ回り研磨後のプラスチック光ファイバー片端面に金属薄膜を成膜した。成膜には真空蒸着装置を用いて、チタンを膜厚が約100nmとなるように蒸着した。

研磨前および研磨後にチタンを100nm蒸着したプラスチック光ファイバーに対してレーザー光を入射し、チタン薄膜より生じた衝撃波の圧力測定を行った。

圧力の測定には圧力センサーを用いて、チタン薄膜を蒸着したプラスチック光ファイバーの下側4mmの位置にセットした。この際、圧力センサーの検出面に対して光ファイバー長手方向が垂直になるように配置し、最も高い圧力が捉えられるようにした。

### 4. 研究成果

図2に面出し直後と研磨後のプラスチック光ファイバー端面のレーザー顕微鏡写真を示す。面出し直後のプラスチック光ファイバー端面には#600ラッピングフィルムによる擦過痕が一方向に見られたとともに外周

部にはバリが残っていた。しかしながら、割れや欠けといったものは見られなかった。一方、研磨後のプラスチック光ファイバー端面は全面で平滑化されており、スクラッチや割れ、欠けといったものは見られなかった。

図3にチタン薄膜を蒸着した面出し直後および研磨後のプラスチック光ファイバー端面のレーザー顕微鏡写真を示す。面出し直後のプラスチック光ファイバーにチタン薄膜を蒸着したものは、面出し時の擦過痕がそのまま残っていた。一方、研磨したプラスチック光ファイバーにチタン薄膜を蒸着したものは2つに大別され、表面に直線状の割れが多数生じたものと全く生じていないものがあつた。

また、レーザー顕微鏡の表面粗さ測定機能を用いて、チタン薄膜の表面粗さを測定したところ、面出し直後のプラスチック光ファイバーは  $1.9 \mu\text{mRa} \cdot 13.4 \mu\text{mRz}$ 、研磨後で表面に直線状の割れが入っていたものは  $1.2 \mu\text{mRa} \cdot 8.3 \mu\text{mRz}$ 、割れが入っていなかったものは  $1.3 \mu\text{m} \cdot 7.2 \mu\text{mRz}$  であつた。研磨後のプラスチック光ファイバー表面には割れなどは見られなかったが、チタン薄膜の蒸着面に直線状の割れが見られたことについて、プラスチック光ファイバー研磨面の残留応力、チタン薄膜蒸着時の加熱・冷却、光ファイバーの素材であるアクリルと金属薄膜素材であるチタンの熱膨張係数の差が影響していると考えられる。

また、レーザー顕微鏡の表面粗さ測定機能を用いて、チタン薄膜の表面粗さを測定したところ、面出し直後のプラスチック光ファイバーは  $1.9 \mu\text{mRa} \cdot 13.4 \mu\text{mRz}$ 、研磨後で表面に直線状の割れが入っていたものは  $1.2 \mu\text{mRa} \cdot 8.3 \mu\text{mRz}$ 、割れが入っていなかったものは  $1.3 \mu\text{m} \cdot 7.2 \mu\text{mRz}$  であつた。研磨後のプラスチック光ファイバー表面には割れなどは見られなかったが、チタン薄膜の蒸着面に直線状の割れが見られたことについて、プラスチック光ファイバー研磨面の残留応力、チタン薄膜蒸着時の加熱・冷却、光ファイバーの素材であるアクリルと金属薄膜素材であるチタンの熱膨張係数の差が影響していると考えられる。

図4にチタン薄膜を蒸着したプラスチック光ファイバーに対してレーザー光を入射し、チタン薄膜より生じた衝撃波の圧力測定結果を示す。これより、研磨後のプラスチック光ファイバーにチタン薄膜を蒸着し、表面に割れなどがなかったものが強度は一番強く、約  $3.3\text{MPa}$  であつた。そして、研磨後のプラスチック光ファイバーにチタン薄膜を蒸着し、表面に割れなどがあつたもの、面出し直後の光ファイバーにチタン薄膜を蒸着したものの順番となつた。チタン蒸着膜に割れがあつたものは、直線状の割れによって蒸着膜が複数の島に分かれており、それぞれの島で衝撃波が発生したこと、割れ近傍ではプラスチック光ファイバーとチタン薄膜との

密着性が悪くてレーザー光を吸収できなかつた、剥離してしまったためにこのような結果になつたと考えられる。また、面出し直後のプラスチック光ファイバーにチタン薄膜を蒸着したものは、チタン薄膜直下のプラスチック光ファイバー粗面部でもレーザー光の吸収が起こり、チタン薄膜での十分なレーザー光吸収が阻害されたと考えられる。

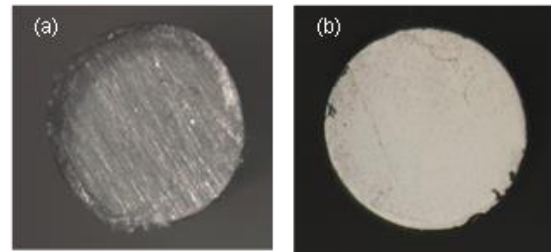


図2 面出し直後(a)および研磨後(b)のプラスチック光ファイバー端面のレーザー顕微鏡写真

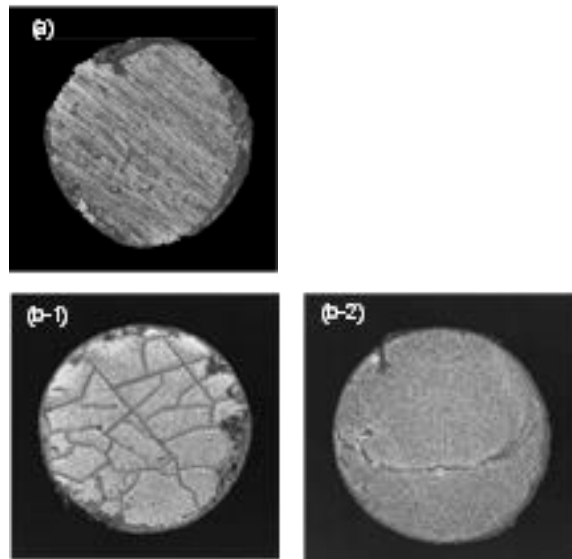


図3 チタン薄膜を蒸着した面出し直後(a)および研磨後(b-1, b-2)のプラスチック光ファイバー端面のレーザー顕微鏡写真

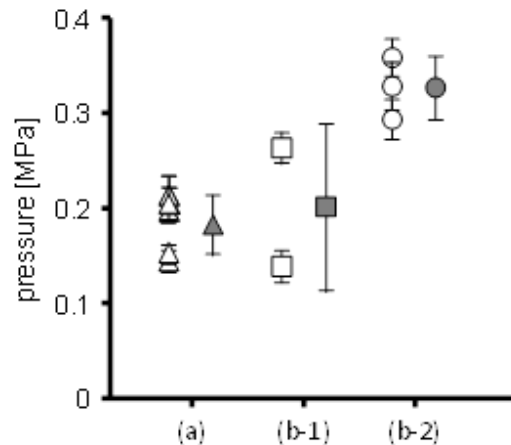


図4 チタン薄膜より生じた衝撃波の圧力測定結果

## 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 1 件)

Nakamura M, Shibutani H: Development of a miniature laser-induced underwater shockwave-generating device using an optical fiber, Micro and Nanosystems, 7, 159-164, 2016.

[学会発表] (計 0 件)

[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 0 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

澁谷 秀雄 (SHIBUTANI Hideo)

久留米工業大学 機械システム工学科・准教授

研究者番号: 80303709

(2) 研究分担者

( )

研究者番号:

(3) 連携研究者

( )

研究者番号:

(4) 研究協力者

( )