

レーザー照射によりガラス内部に導入される金属球の大きさ制御に関する研究

千葉大学工学部機械工学科 ○今井 拓哉, 千葉大学大学院工学研究院 ◎比田井 洋史, 松坂 壮太, 千葉 明, 森田 昇

ガラスの裏面に金属箔を付着させ、レーザーを照射すると直径 100 μm 程度の金属球がガラス中に導入される。本研究では、導入される金属球の大きさ制御を試みた。まず、金属箔およびレーザーの条件を変更し、球の直径が大きくなる条件として、厚い金属箔および高いレーザーのパワー密度が必要であることがわかった。さらに、あらかじめガラス内部に金属球を埋め込む手法により、最大直径 300 μm の金属球を導入し移動させた。

1. 結言

金属箔をガラスの裏面に固定し、ガラスを通して金属箔に CW レーザ光を照射すると、ガラス内に金属球が導入される。本手法は、CW-LBI 法¹⁾と称されており、光導波路や電気伝導路への応用が期待されている。ここで、任意の大きさの光導波路や電気伝導路を作成するためには導入およびマニピュレーション可能な金属球の大きさを制御する必要がある。しかし、その手法は確立されていない。そこで、本研究では、導入される金属球の大きさに差異を生じさせる要因の解明および移動可能な金属球の大きさの限界を明らかにすることを目的とする。

2. 様々な条件下における金属球の導入

2.1 実験方法

金属箔の厚さおよびレーザー照射条件が導入される金属球の直径に与える影響の検証を目的として、金属球の導入を行った。実験装置の概略図を図 1 に示す。金属箔には SUS304 を用いた。

2.2 結果と考察

レーザーの出力を 19W、スポット径を 100 μm とし、SUS304 箔の厚さを変更した。金属箔の厚さと導入された金属球の大きさの関係を図 2 に示す。図 2 より、本実験では、金属箔が厚くなると、導入される金属球の直径が大きくなるのが分かる。これは金属箔が厚くなることで、レーザーの照射方向の熔融する金属の体積が大きくなり、より多くの金属を金属球の形成に使えるようになったことが要因だと考えられる。

レーザー光の焦点をデフォーカスすることで、レーザー光のスポット径を 20 μm 、50 μm 、100 μm 、150 μm 、200 μm と変化させて金属球の導入を行った。レーザー出力を 19W、金属箔の厚さを 10 μm とした。

レーザー光のスポット径と導入された金属球の大きさの関係を図 3 に示す。図 3 より、金属箔に照射されるレーザー光のスポット径が大きくなると、導入される金属球の直径が小さくなるのが分かる。これは、スポット径を大きくしたことで、レーザー光のパワー密度が小さくなったことが要因だと考えられる。

スポットサイズは一定とし、レーザーの出力のみを変化させることでパワー密度を変化させ金属球の導入を行った。レーザー光のスポット径を 50 μm 、金属箔の厚さを 10 μm とした。

レーザーの出力と導入された金属球の大きさの関係を図 4 に示す。レーザーの出力が小さくなると、導入される金属球の直径が小さくなる。パワー密度が小さくなると導入される金属球の直径が小さくなるが示された。つまり、金属球を導入するために必要なパワー密度の閾値が存在する可能性がある。ここで、レーザーにより加熱され熔融した金属箔の全てが金属球となると仮定する。金属球の体積が、金属箔の厚さを高さとする円柱とみなして、必要な半径を求める。このときの模式図を図 5 に示す。結果から金属箔の厚さ、レーザーのスポット径、レーザー出力を変更した場合のそれぞれについて、パワー密度の分布を横軸熔融半径として表した

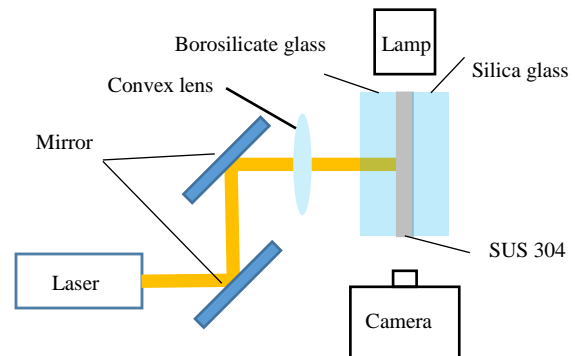


Fig. 1 Experimental equipment of manipulating metal particle

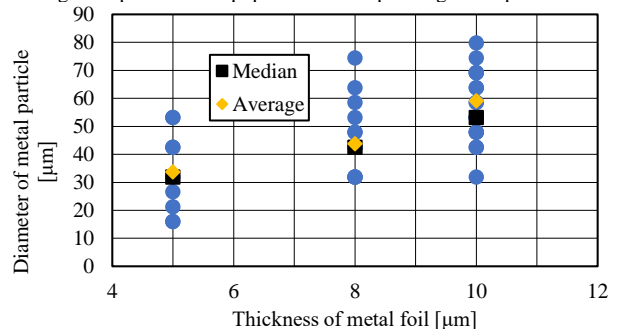


Fig. 2 Introduction when changing thickness of metal foil

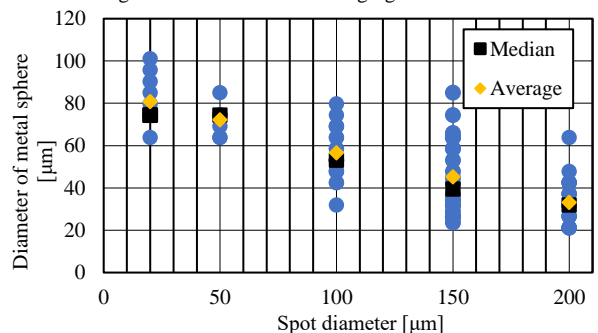


Fig. 3 Introduction when changing spot diameter

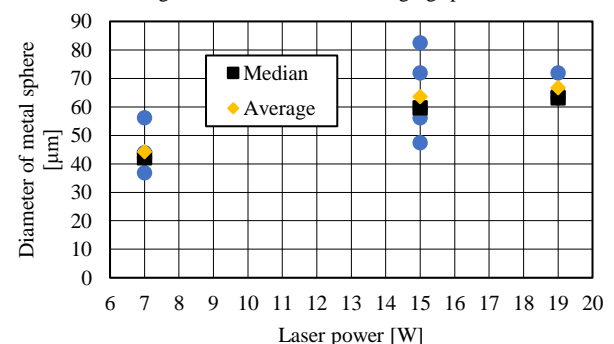


Fig. 4 Introduction when changing laser power

ものを図6, 図7, 図8に示す. この熔融半径とパワー密度の分布との交点は, 熔融範囲内で最もパワー密度が低い点である. つまり, この点があるパワー密度で一定になっていれば, その値が金属球の導入されるパワー密度の閾値である可能性が高い. そこで, それぞれのパワー密度の分布について熔融半径との交点を比較した. しかし, 特定のパワー密度は算出できず, 金属球が導入される閾値は得られなかった. よって, 金属球の導入には, パワー密度だけではなく, 今回の実験系では統一できなかった金属箔への入熱量やレーザー光の照射時間などの他の条件も関係している可能性がある.

3. 埋め込み法による最大直径の金属球導入およびマニピュレーション

3.1 実験方法

2章の実験では, 金属箔から導入される金属球の直径は最大でも100 μm 程度であった. 本章ではさらに大きな金属球のマニピュレーションを目的とする. 図9のように市販の金属球を無アルカリガラスで挟み, 電気炉で1000度まで加熱し, あらかじめガラス内に金属球を埋め込み, 実験を行った. また, 試料を作製する際に金属球が転がらないように, 金属球を液体に浸して固定した. この液体には, ガラスが熔融した際に気泡が形成されないよう, 沸点が低く蒸発しやすいエタノールを用いた. 金属球に照射するレーザー光のスポット径は, 金属球の直径と同じとした.

3.2 結果と考察

マニピュレーションの可否を表1に示す. また, 移動する300 μm の金属球を図10に示す. 図10のように黒色の軌跡を伴いながら移動した. 直径150 μm , 300 μm の金属球のマニピュレーションには成功したが, 直径500 μm の金属球においては, 金属球が移動を開始する前に熱応力によってガラスが割れてしまったため, 金属球を移動させることはできなかった. よって現在の実験系においてマニピュレーション可能な最大の金属球は直径300 μm となった.

4. 結言

本研究では以下の事項が明らかになった

- パワー密度が大きくなると, 導入される金属球の直径は大きくなる. これは, パワー密度が上昇したことで金属箔が熔融しやすくなったためであると考えられる.
- 金属箔が厚くなると, 導入される金属球の直径は大きくなる. これは, レーザ照射方向の金属の量が増加したことで, より多くの金属を金属球形成に使えるようになったことが要因だと考えられる.
- マニピュレーションが可能な金属球の最大直径は300 μm である.

5. 参考文献

1) 山崎貴斗 他, CW レーザ背面照射法(CW-LBI)によるガラスの内部変質(第3報)-ガラス内部への白金微粒子の導入-, 精密工学会誌 76, 5(2010)577

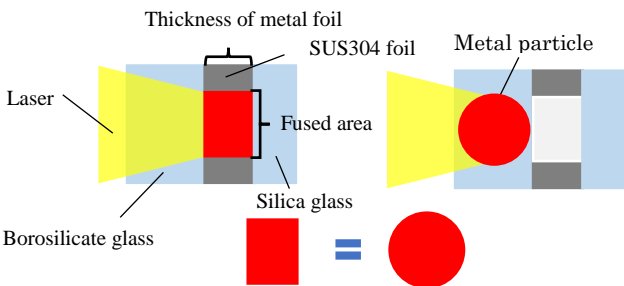


Fig. 5 Schematic of introduction to Borosilicate glass

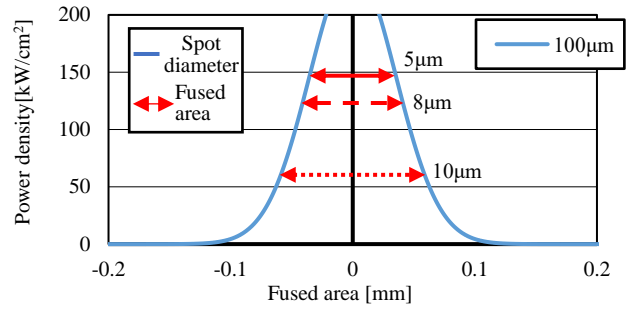


Fig. 6 Power density and fused area when changing thickness of metal foil

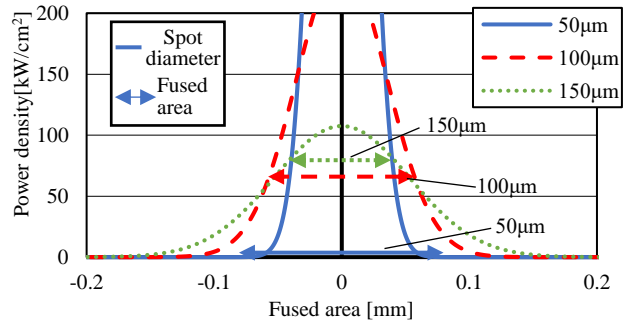


Fig. 7 Power density and fused area when changing spot diameter

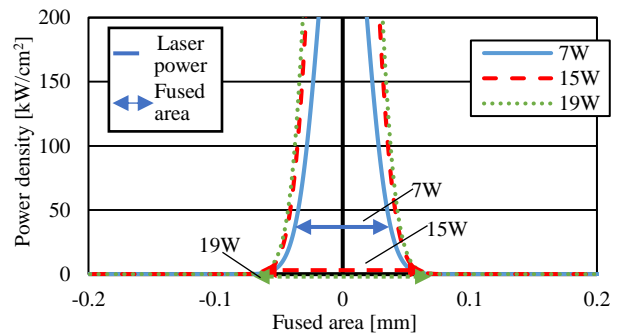


Fig. 8 Power density and fused area when changing laser power

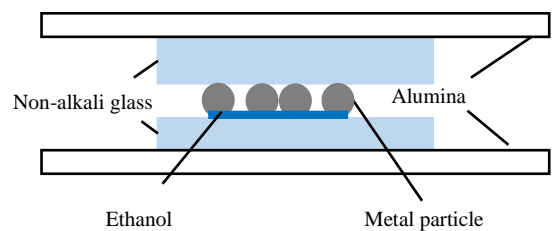


Fig. 9 Introduction when changing thickness of metal foil

Table 1 Result of manipulation metal particle

Diameter of metal sphere [μm]	150	300	500
Laser power [W]	9.5	10	44
Result of manipulation	○	○	×

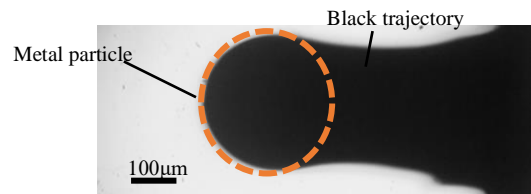


Fig. 10 300 μm metal sphere in non-alkali glass