

レーザー照射によりガラス内部に導入される金属球の直径制御および導入可能な金属拡充

千葉大学 ○福嶋駿太, 西岡宣泰, ◎比田井洋史, 松坂壮太, 千葉明, 森田昇

要旨

ガラスに密着させた金属箔にレーザー照射することで、ガラス内部へ金属球が導入できる。本研究では、金属球の直径制御、および導入可能な金属拡充を目的とした。金属箔に微小パターンを施し、熔融する金属量を一定にすることと熱伝導の抑制を試みた。その結果、金属球の直径が制御でき、金属球の体積と微小パターンの体積が一致することを確認した。さらに熱伝導が抑制されるため、従来導入が困難な高熱伝導率金属の導入に成功した。

1. 緒言

ガラスは高い絶縁性および透過率という特性から、光デバイスや基板材料など工業的な場面で広く応用されている。これまでに著者らは、ガラスに密着させた金属箔に対して、ガラス越しにレーザー照射することで、ガラス内部に金属球を導入し、軌跡を変質する手法を提案している^[1]。しかし現在、導入される金属球の直径は、 $10\mu\text{m}$ ~ $100\mu\text{m}$ 程度でばらつきがある。また、使用する金属の種類によって金属球の導入可否が異なる。そこで、導入する金属球の直径の制御およびより多くの種類の金属の導入が望まれている。

本研究では、金属箔をあらかじめ一定の体積に切り出し、熔融する金属の量を統一することで、導入される金属球の直径の制御を検討した。また、以前の研究^[1]では高熱伝導率金属は導入が困難であった。そこで、金属箔を切り出し、熱伝導を抑制することで安定した導入法の確立を試みた。加えて、金属球の導入が未検証である金属について、その導入可否を調査した。

2. 金属球の直径の制御

2.1 目的

本章では、金属箔をパターン化することで、ガラス内部に導入する金属球の直径制御を検討した。

2.2 実験方法

ホウ珪酸ガラスと断熱材で挟んだニクロム箔を、パルスレーザーを用いて円形に切り出した。その後、パターンにCWレーザーを照射してガラス内部に金属球を導入した。実験に用いた試料の構成をFig.1に示す。CWレーザーには波長が 1064nm のファイバレーザーを使用した。以降全ての金属球の導入実験において、同様のレーザーを用いた。また、パターンの直径および厚みを変更することで、パターンの体積を変化させた。パターンの直径を変更する場合は厚さ $10\mu\text{m}$ 、厚さを変更する場合は直径 $200\mu\text{m}$ で一定とした。

パターンの体積と、パターンから導入された金属球の体積が同等だと仮定した場合、金属球の理論球径 $D[\mu\text{m}]$ は、パターン直径 $d[\mu\text{m}]$ と金属箔の厚さ $t[\mu\text{m}]$ を用いて、式(1)で表せる。本章では、理論球径と実際に導入された金属球の直径を比較し、評価を行った。

$$D = \sqrt[3]{\frac{3td^2}{2}} \quad (1)$$

2.3 実験結果・考察

導入された金属球の直径および理論球径をFig.2およびFig.3に示す。Fig.2およびFig.3の縦軸は金属球の直径を、横軸はパターン

の直径および厚みをそれぞれ示す。Fig.2およびFig.3より、導入された金属球の直径は理論球径と一致していた。

以上の結果より、パターンの体積により導入される金属球の体積が決定することが明らかになった。同じ形状のパターンから導入された金属球の直径にばらつきがあった要因として、導入時の染み出しの影響が考えられる。これまでの研究^[1]より、金属球の導入時に、熔融した金属の一部がガラス内部に拡散することが分かっている。本実験では、拡散した分だけ、金属球の体積が減少した可能性がある。また拡散量には、試行によりばらつきがあることがわかっている。そのため、拡散量のばらつきが、金属球の直径のばらつきに影響したと考えられる。より厳密に金属球の直径を制御する際には、ガラス内部への金属の拡散量を一定にするような、実験条件を選択する必要がある。

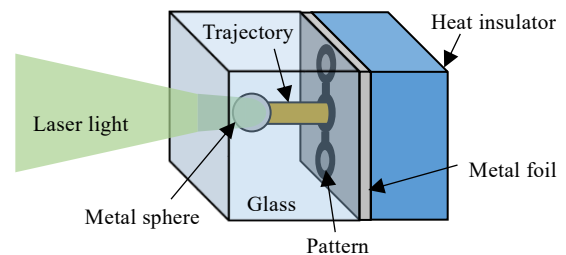


Fig. 1 Schematic illustration of the experimental sample.

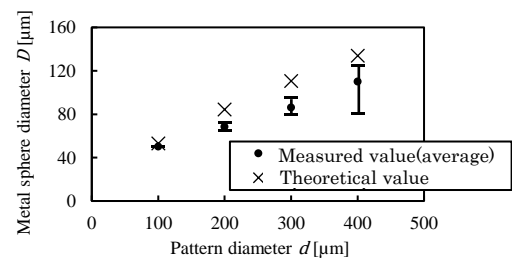


Fig. 2 Correlation between diameter of metal spheres and diameter the patterns.

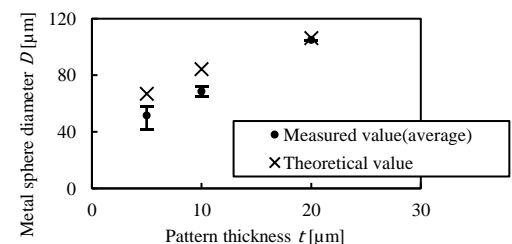


Fig. 3 Correlation between diameter of metal spheres and thickness of patterns.

3. 高熱伝導率金属の安定した導入方法の確立

3.1 目的

Cu, Ag および Au 等の高熱伝導率金属は、レーザ照射部から熱が拡散し、金属の温度が融点まで上昇しないため、金属箔からでは金属球の導入が困難である^[2]。しかし、熱容量の小さい微小パターンにレーザを照射した場合、熱が拡散せず、金属球導入に十分な温度まで上昇すると考えられる。本章では、微小パターンを用いて金属球の導入実験を行い、高熱伝導率の金属の安定した導入を検討した。

3.2 実験方法

ホウ珪酸ガラスと断熱材で挟んだ Cu, Ag および Au 箔を、パルスレーザを用いて直径 200 μm の円形に切り出した。その後、切り出したパターンに対し CW レーザを照射して、ガラス内部へ金属球の導入を試みた。

3.3 実験結果・考察

Cu 箔より導入された金属球を Fig. 4 に示す。Fig. 4 に示すように、新たに Cu 箔からの金属球の導入が確認できた。一方、Ag および Au の箔からの金属球の導入は確認できなかった。

Ag および Au の箔から金属球が導入しなかった要因として、各金属におけるレーザの吸収率が挙げられる。Ag および Au の 1064 nm における反射率は、0.95 以上である。この値は、本研究において金属球の導入が確認された Cu、およびすでに金属球の導入が確認されている Fe の、同波長における反射率 0.70~0.90 と比較し大きい^[4]。つまり Ag および Au は、Cu および Fe と比較し、波長 1064 nm における吸収率が低いといえる。吸収率が低い場合、レーザ照射時に金属箔が吸収するエネルギーが小さくなるため、温度が融点まで上昇せず、金属球の導入が不可能であったと考えられる。また各金属において、それぞれ吸収率が高い波長の CW レーザを用いることにより、金属球の導入が安定する可能性がある。

4. 球として導入可能な金属の調査

4.1 目的

本章では、現状において金属球の導入が未検証である Al, Mo, Sn および Zn の 4 種類の金属について、ホウ珪酸ガラスへの導入可否を調査した。

4.2 実験方法

金属箔または金属粉末をホウ珪酸ガラスと断熱材によって挟み、ガラス越しに CW レーザを照射することで、ホウ珪酸ガラスへの金属球の導入を試みた。

4.3 実験結果・考察

Al 箔より導入した金属球を Fig. 5 に、Mo 箔から導入した金属球を Fig. 6 にそれぞれ示す。新たに金属球として Al および Mo をホウ珪酸ガラス内に導入した。一方、Sn および Zn の粉末からは金属球の導入が確認できなかった。

Zn の粉末から金属球が導入しなかった要因として、Zn の蒸発が挙げられる。Zn の沸点は 1180 K であり^[5]、すでに金属球として導入が確認されている Fe の沸点 3134 K と比較し、2000 K 程度小さい。また、ホウ珪酸ガラスの軟化点 1093 K との差は 100 K 程度である。そのため、レーザ照射部では Zn は蒸発していたと考えられる。ここで、軟化点の低いガラスを用いて金属球の導入実験を行うことで、Zn の導入が可能になると考えられる。

一方 Sn の沸点は 2875 K であり、Zn の沸点およびホウ珪酸ガラスの軟化点と比較し 1500 K 以上大きい。そのため、Sn の粉末から金属球が導入しなかった要因は、Zn とは異なり蒸発ではないと考えられる。そこで別の要因として、Sn の融点とガラスの軟化点の影響に

ついて着目した。Sn の融点は 505 K であり、ホウ珪酸ガラスの軟化点と比較し 400 K 以上小さく、金属の中では比較的低融点である。また本研究室では、523 K のガラス転移点を持つ低融点ガラスに対して、Sn の粉末から金属球の導入に成功している。ここで、ガラスの軟化点と金属の融点との差が、金属球導入の可否に関係している可能性がある。ガラスの軟化点と金属の融点に着目した詳細な調査は、今後の課題である。

5. 結 言

1. パターンの体積により導入される金属球の体積が決定することを明らかにした。
2. Cu 箔に施したパターンより金属球を導入した。
3. 新たに Al, Mo の金属球を導入した。

参 考 文 献

- [1] 山崎貴斗, 他: 精密工学会誌, 76, 5, (2010), 577-581.
- [2] Hidai et al.: Optics Express, 18, 19, (2010), 20314-20320.
- [3] 西岡宣泰, 他: 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, (2018).
- [4] 日本エレクトロヒートセンター (編): エレクトロヒートハンドブック, (2011).
- [5] 日本熱物性学会 (編): 熱物性ハンドブック, (2000).

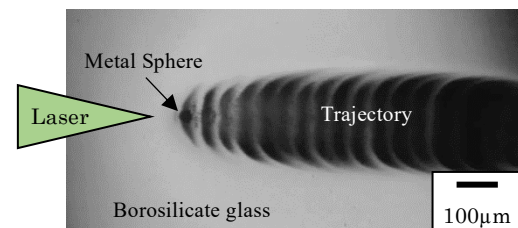


Fig. 4 The metal sphere implanted from copper foil.

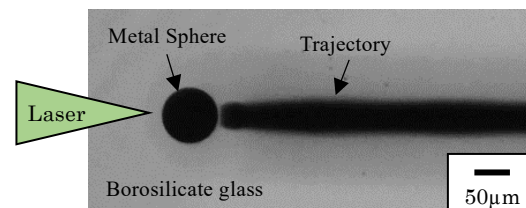


Fig. 5 The metal sphere implanted from aluminum foil.

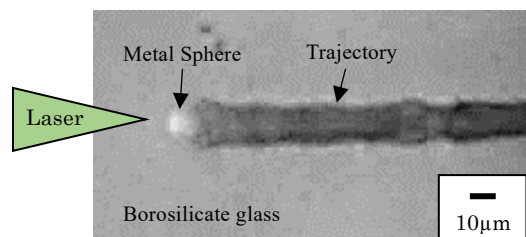


Fig. 6 The metal sphere implanted from molybdenum foil.