

補助事業番号 2022M-189

補助事業名 2022年度 レーザ照射による穴形成、内面への成膜、接合一括加工法の開発
補助事業

補助事業者名 千葉大学 大学院工学研究院・機械工学コース 教授・比田井洋史

1 研究の概要

本研究事業は、申請者らが見出してきた、①紫外線レーザー光を高繰り返し周波数で照射することによる、種々の材料に小径かつ深穴あけする手法と、②さらに異種材料を重ねてまとめて穴あけすることで、上部の材料の穴の内部に下部の材料を成膜する手法を応用する。本手法を用い、加工穴内面の機能化や材料同士の局所接合を実現する。本研究事業では、特にこれらの現象理解と応用展開を目指し、加工プロセスの解明、膜の性質の評価、局所接合についての検討を行った。

2 研究の目的と背景

小径かつ深穴加工は、例えば、シリコンの貫通配線をはじめとして幅広いニーズがある。このような小径穴あけには、レーザー、ドリル、反応性イオンエッチング(RIE)といった加工法が利用されている。しかし、直径 $30\mu\text{m}$ 以下の小径、かつアスペクト比20を越えるような深穴あけは難しい。申請者らは、紫外線レーザー光を高繰り返しで照射した時、ある条件で種々の材料に小径かつ深穴あけが可能であり、さらに異種材料を重ねてまとめて穴あけすることで、上部の材料の穴の内部に下部の材料を成膜する手法を考案している。最初に上部の材料に穴があく。その後、下部の材料にレーザー光があたり材料が溶融飛散し、上部の穴内面に下部の材料が堆積し成膜できる。これまでにガラスと銅を重ねて穴あけすることで、ガラスの内面に銅を成膜し、導電性(数 Ω 以下)を有する膜が得られることを確認している。このように内面への成膜を利用し機能化を実現できる。さらに、この成膜により材料①と②が接合できることを確認している。

そこで本研究事業では、これらの現象をより深く理解し、応用へ展開することを目指し、以下を目的と設定した。

- (I) 内面への成膜や深穴あけに大きく影響をおよぼす加工プロセスを解明する。特にパルス照射直後の挙動(プラズマの生成、溶融飛散物の動き)を観察、分析する。
- (II) 膜の性質の評価を行い、材料による違い、成膜範囲の制御について検討し、本提案手法による内面への成膜の可能性を明らかにする。
- (III) 材料①と材料②の接合についてその接合強度を評価し、十分な強度が得られる条件、そのメカニズムについて明らかにする。

3 研究内容

(1) メカニズムの解明

レーザー照射により穴の底部で除去された被加工物はプラズマ化した後、冷却され一部は穴の内

面に堆積し、一部は穴の外に出る。ガラスに銅を積層した状態で穴あけし、照射回数を増やしていくとその成膜量も増える現象を確認できた(図1にその一例を示す)。蒸着やレーザーパッタなどのPVD(physical vapor deposition)では真空容器中において減圧下で行うのが一般的である。本手法では、深穴内部で生成するプラズマは穴内部に閉じ込められるため、大気圧以上の高圧であると予想される。

溶融飛散物の評価:穴底部で除去された溶融飛散物はプラズマ化した後、冷却され、徐々に大きくなりながら、穴内壁に堆積したり、外に出ていったりする。この観察について、バックライトからの透過光を用い、パルス照射回数を変化させることで、穴内部における堆積量の分布が変化する様子を確認することができた。

(2) 内面への異種の材料の成膜と膜の評価

穴内面に成膜し、膜の評価をおこなった。評価を行うために直径10 μ m以下の穴の断面を観察する必要があった。このため、ワイヤーソーとイオンポリッシングにより、穴断面を露出させた。穴の底部が材料の界面部分を通過する際には、上下2種類の材料が同時に除去される。そのため、これらの材料の混ざった溶融飛散物が生成する。例えばEDXの分析結果(ガラスと再堆積銅の界面を線状に元素分析した結果)から、加工されていないガラス部から再堆積した銅に向かうにつれて、Siの分析強度は小さくなり、一方でCuの強度は強くなる傾向を確認できた。

(3) 成膜材料, (4) 穴あけ, 内面成膜, 接合一括加工

その他、材料を変化させたときの成膜可能性や、本プロセスを応用した局所接合についても検討した。例えば、ガラス基板と銅板の間に再堆積層を形成し、さらにアンカリング効果が期待できるサブミクロン以下の小さな隙間領域の形成も確認できた。

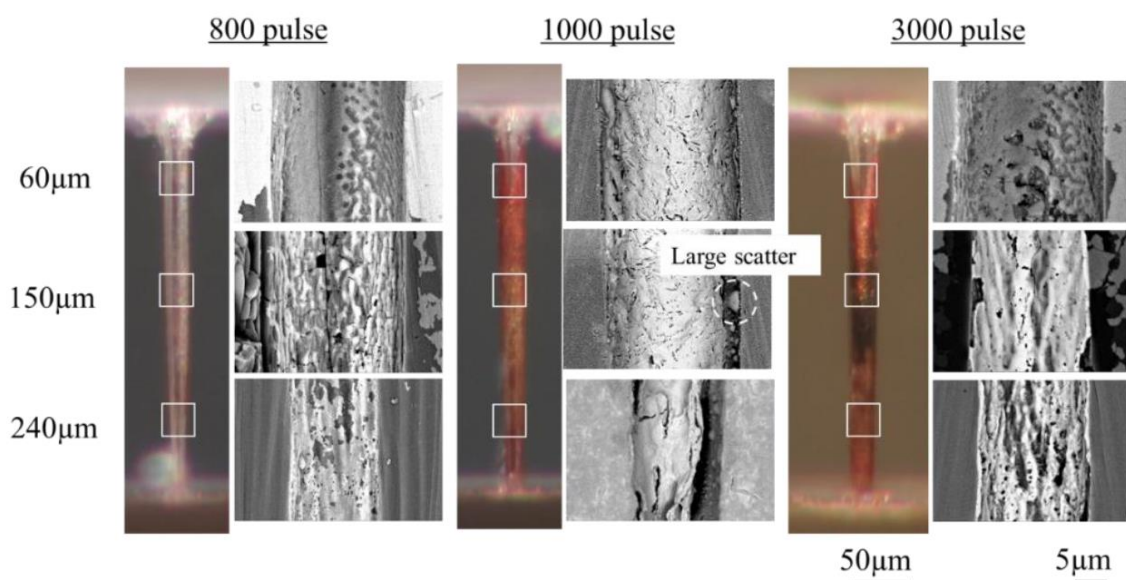


図1 ガラス内面に成膜された銅の例

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本事業での成果は、ガラス素材の新たな価値創出に寄与するとともに、従来の穴あけの基礎的研究から、技術成熟度を高め(TRL: 3→4程度)応用につなげるためのデータとなる。具体的には、穴あけと同時に金属成膜をおこなえる点で、電気電子分野における製造プロセスの工程の省略につながる事が考えられる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

事業者は2010年ごろから、ガラスへの高アスペクト比穴あけの基礎的研究や、穴内面への成膜現象を見出し、その応用に取り組んできた(特許第5597853号 など)。一方で、その詳細な加工プロセスや特にその成膜現象のメカニズムは明らかでなかった。本研究事業により、それらの一部が明らかになり、高アスペクト比の穴あけの応用につなげることができる。例えば、具体的には、穴内面に金属薄膜を成膜でき、さらにレーザー照射回数を変えることで少なくとも成膜量が制御可能であることが明らかになった。今後は企業との共同研究により、開発を進める予定である。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

特になし

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

<https://www.em.eng.chiba-u.jp/~lab5/Researches/LaserDrilling.html> (URL)

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

学会における研究紹介用ポスター 1部

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 千葉大学(チバダイガク)

住 所: 〒263-8522

千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33

担 当 者: 教授・比田井洋史(ヒダイヒロフミ)

担 当 部 署: 大学院工学研究院・機械工学コース(ダイガクインコウガクケンキュウイン・キカイコウガクコース)

E - m a i l: hidai@faculty.chiba-u.jp

U R L: <https://www.em.eng.chiba-u.jp/~lab5/index.html>