

CW-LBI 法による樹脂材料の内部変質

千葉大学工学部機械工学科 ○高木勇人 ◎比田井洋史 松坂壮太 千葉明 森田昇

ガラスに密着させた金属箔へガラス越しに CW レーザを照射すると、ガラス内部に金属球が導入される。本手法を CW-LBI 法と称する。本研究では、CW-LBI 法に必要な材料特性の特定を目的とし、結晶化ガラスおよび樹脂材料へ金属球導入を試みた。その結果、結晶化ガラスでは、導入を確認し、金属球通過後の軌跡には金属箔成分が含まれていることがわかった。樹脂材料では、導入は確認されず、POF(Plastic Optical Fiber)のファイバーヒューズに類似した現象を確認した。

1. 緒言

ガラスの裏面に金属箔を密着させ、ガラス越しに金属箔へ CW レーザを照射すると、金属箔の一部がガラス中に金属球として導入される¹⁾。本手法は CW-LBI 法と称されており、金属球が通過したガラス内部の軌跡の屈折率が変化するという特性を活かした光導波路。電気伝導性を有する金属球をガラス内部に連続的に配置することによる電気伝導路として応用が検討されている。

先行研究により、ホウ珪酸ガラス(Corning, Pyrex®, 7740)や石英ガラスなどのガラスへ CW-LBI 法による金属球の導入が可能であることが確認されている。しかし、金属球の導入に必要な材料特性は明らかになっていない。また、石英ガラス内部の軌跡においては、縞模様が生じることが確認されている²⁾。金属球の導入および移動が未検証な材料においても、特異な軌跡や金属成分の拡散が観察される可能性がある。

本研究では、ガラスとは異なる特性を有する材料および金属球の導入が未検証なガラスへ導入を検証し、CW-LBI 法に必要な材料特性の特定を目指した。具体的には、光透過性に優れた樹脂材料、未検証なガラスとして、結晶化ガラス(電気硝子建材(株)、ファイアライト®)を選定し、金属球の導入および移動を検証した。また、樹脂材料内部および結晶化ガラス内部において生じた変質を、光学顕微鏡および SEM により観察し、EDS を用いて成分分析した。さらに、樹脂材料における変質発生時の発光の放射スペクトルを計測した。

2. CW-LBI 法による金属球導入の試みおよび内部変質の観察

2.1 CW-LBI 法による金属球導入および移動実験

2.1.1 実験方法

実験装置を図 1 に示す。金属箔は厚さ 10 μ m の SUS304 箔を用いた。レーザ照射には、CW レーザ発振器(Raycus, RFE-C020/A/2/A)を用いた。本研究で用いた樹脂材料および結晶化ガラスの物性値を表 1 に示す。

2.1.2 実験結果

CW-LBI 法により樹脂材料へ金属球導入を検証した際に生じた軌跡の進展を、高速度カメラ(ノビテック(株)、Phantom V7.3)により撮影した様子を図 2 に示す。(a)はアクリル、(b)はポリカーボネートである。(a1)~(a3)および(b1)~(b3)はそれぞれ、変質部が各樹脂材料と金属箔の界面で半円形に膨張し、変質が発生し、レーザ照射方向へ軌跡として進展する様子を示している。

また、CW-LBI 法により金属箔から結晶化ガラスへ金属球を導入することに成功した。ファイアライト内部の金属球および金属球が通過した軌跡の断面を、光学顕微鏡により観察した様子を図 3 に示す。金属球が導入され、金属球が通過した軌跡には変質が生じていることがわかる。また、軌跡には微粒子が拡散している様子が観察された。特に破線で示した部分では、微粒子の拡散量が多く、同一軌跡内において拡散量に差がみられる。

2.2 光学顕微鏡、SEM および EDS による材料内部軌跡の観察

2.2.1 実験方法

透明材料内の軌跡の特性変化の評価を目的とし、樹脂材料内の変質部断面および結晶化ガラス内の金属球が通過した軌跡を光学顕微鏡、SEM および EDS により、観察および成分分析を行った。

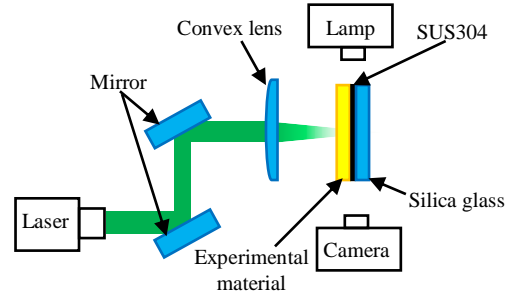


Fig. 1 Experimental equipment

Table 1 Property of materials

	Deformation temperature [K]	Light transmittance [%]	Thermal expansion coefficient [$10^{-7}K^{-1}$]
Acrylic	376	92	600
Polycarbonate	418	90 \pm 1	600-700
Firelite	923	86	-3.0

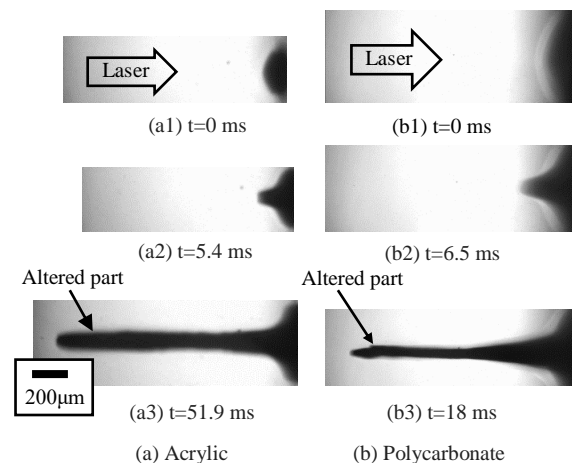


Fig. 2 High speed camera image of the trajectory

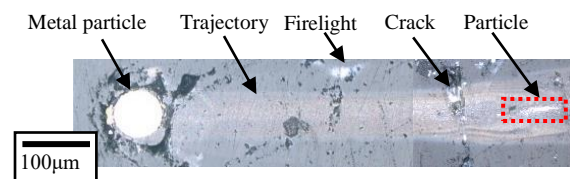


Fig. 3 Snapshot of trajectory and metal particle in Firelite

2.2.2 実験結果

樹脂材料内部の変質部断面を、光学顕微鏡およびSEMにより観察した様子を図4に示す。(a)および(c)はアクリル、(b)および(d)はポリカーボネート内部の変質部断面である。両者とも、金属球は確認されなかった。また、軌跡の一部では、空洞が生じていた。図4に示す2点に対してEDSによる点分析を行った結果を図5に示す。①および②部分ともに、金属箔の成分は検出されず、樹脂材料の主成分である炭素Cと酸素Oが検出された。

また、図3において破線で示した部分をSEMにより観察した様子を図6に示す。大きさ約0.1 μm ~2 μm の結晶化ガラスとは異なる成分である微粒子が観察された。図6に示す2点に対してEDSによる点分析を行った結果を図7に示す。③部分からは、結晶化ガラスの成分であるSi、OおよびAlが検出され、金属箔の成分は検出されなかった。④部分からは、Feが検出された。Feは金属箔の成分であるため、結晶化ガラス内の軌跡において金属球からFeが拡散することがわかった。

2.3 CW-LBI 法による樹脂材料の内部変質

2.3.1 軌跡進展時の発光の放射スペクトル計測

樹脂材料内に生じる変質の発生および進展の原因はわかっていない。これらの原因を解明することを目的とし、変質が軌跡として進展する時の発光の放射スペクトルを計測した。

樹脂材料内での変質進展時の発光の放射スペクトルを測定した結果を図8に示す。両者とも、線スペクトルが見られないため、プラズマによる発光ではなく、熱輻射由来の発光であると考えられる。さらに、両者の放射スペクトルの波長のピークは約710 nmであり、ウィーンの変位法則より輝点の温度は約4100 Kと求まる。

2.3.2 樹脂材料の内部変質進展メカニズムの検討

変質進展のメカニズムは下記のように考えられる。レーザー照射により加熱された金属箔が熱源となり、周囲の樹脂材料の温度が上昇する。温度の上昇とともに樹脂材料の光吸収率が上がり樹脂材料自体がレーザーを吸収する³⁾。樹脂材料はさらに高温となり、炭化する。レーザー吸収、温度上昇、炭化が連続して発生し、変質が進展したと考えられる。樹脂材料内部を変質が進展する現象は、POF(Plastic Optical Fiber)のファイバーヒューズ³⁾に類似している。

2.4 考察

樹脂材料においては、金属球は導入されず、金属箔成分も拡散していなかった。金属箔が十分に溶融する前に樹脂材料に変質が生じ、軌跡として進展したためと考えられる。炭素を含む材料では、金属箔が溶融する前に材料の炭化が生じ、以後金属箔へのレーザー照射が妨げられてしまうため、金属球の導入および移動は困難であると考えられる。一方で、変質の進展により生じた軌跡において、一部空洞が観察されたことから、微細穴加工方法としての応用が考えられる。

また、結晶化ガラスでは、高温である金属球により内部が変質し、Feの拡散が観察された。金属成分が拡散した部分は電気伝導路として、変質が生じた部分は光導波路としての応用が考えられる。いずれの応用に関しても、導電性の有無や屈折率の変化など、軌跡の特性変化をより詳細に観察する必要がある。

3. 結言

樹脂材料内部では、金属球および金属箔成分の拡散は確認されなかった。また、レーザー照射により、金属箔もしくは金属球を熱源として、樹脂材料の内部変質が連続的に生じ、軌跡として進展するというPOFのファイバーヒューズに類似した現象を確認した。樹脂材料の内部変質は、材料の炭化によるものと考えられる。

結晶化ガラスでは、金属球を導入し、移動させることに成功した。軌跡では、Feの拡散が確認された。同一軌跡内においてFeの拡散量には差がみられた。

4. 参考文献

1) 山崎貴斗, 比田井洋史, 戸倉和, “CW-レーザー背面照射法による

ガラスの内部変質(第3報)”, 精密工学会誌, 76, 5, 577-581, 2010

2) H. Hidai *et al*, “Experimental and theoretical study on the driving force and glass flow by laser-induced metal sphere migration in glass”, *Sci. Rep.* 6, 38545 (2016)

3) Yosuke Mizuno *et al*, “Propagation mechanism of polymer optical fiber Fuse”, *Sci. Rep.* 4, 4800 (2014)

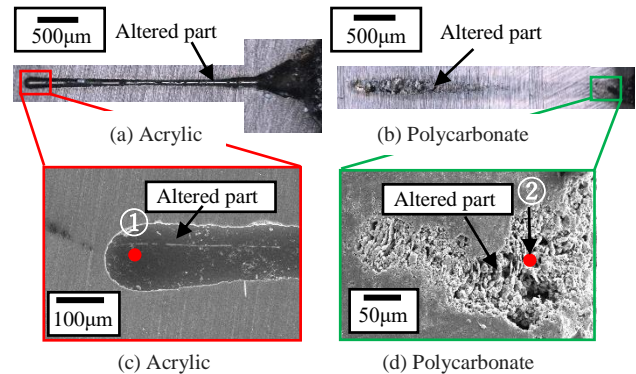


Fig. 4 Optical microscope and SEM image of trajectory

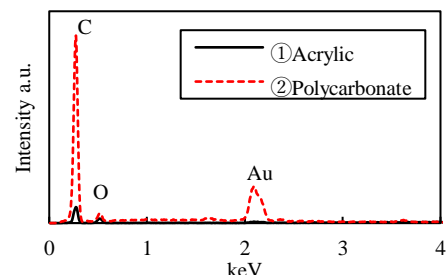


Fig. 5 Component analysis by EDS

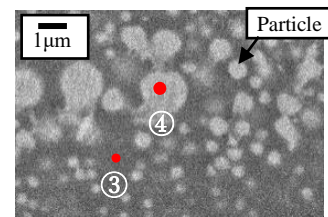


Fig. 6 SEM image of particle in Firelite

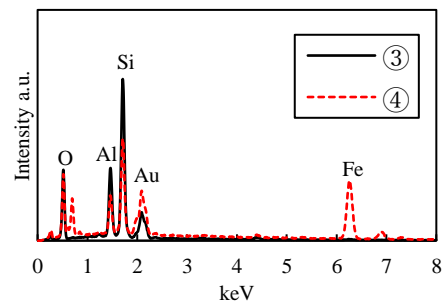


Fig. 7 Component analysis by EDS

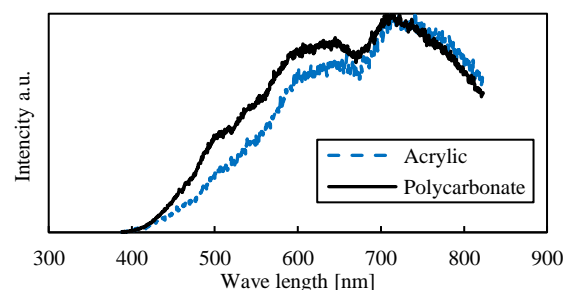


Fig. 8 Spectrum of acrylic and polycarbonate trajectory emission