

炭酸ガスレーザーによるマイクロ流路加工の基礎的検討 — レーザ加工条件が溝性状に及ぼす影響 —

崇城大学 ○ 高松 優未, ◎ 北田 良二, 理化学研究所 天谷 諭

要 旨

低環境負荷で高効率なマイクロ流路加工として、炭酸ガスレーザーを用いた石英ガラス基板上へのマイクロ流路加工の基礎的検討を行った。レーザー光照射条件やアシストガスが微細溝加工に及ぼす影響を評価した結果、溝性状を制御できることがわかった。また、光化学反応用マイクロ流路デバイスの製作を目的として、レーザー加工によるマイクロ流路の送液実験を実施した結果、レーザー加工溝に対する溶液の流れを確認することができた。

1. 緒 言

近年、化学や医療分野において、マイクロ流路デバイスの普及が進んでおり、分析技術の向上や新薬品の合成のために研究開発が進んでいる。一般的にガラス基板上にマイクロ流路となる微細溝を加工する場合、湿式エッチングが適用されるが、製作プロセスが複雑、廃液処理が必要といった課題がある。一方、ドライ加工であるレーザー加工の場合、デザインデータから直接的に微細溝を加工してマイクロ流路を形成でき、廃液処理も不要となる。そこで、炭酸ガスレーザーにより、合成石英ガラス基板上へマイクロ流路を加工することを試みた。レーザー出力、レーザー走査速度、オーバーラップ率、アシストガスなどのレーザー加工条件と微細溝形状との相関を調査することで、レーザーによるマイクロ流路加工の可能性を検討した。また、光化学反応用マイクロ流路デバイスを想定して、マイクロ流路チップを試作して溶液の流れを確認した。

2. マイクロ流路加工法

2.1 レーザ加工方法

図1にレーザー加工に使用した光学系およびアシストガスの模式図を示す。汎用機である炭酸ガスレーザー加工機（Great Computer Corporation, SPIRIT GLS, 100 W）を使用して、固定した合成石英ガラス基板上（20×25×1.0 mm）にレーザー光を走査させることでマイクロ流路となる微細溝加工を行った。

炭酸ガスレーザーはパルスレーザーであり、ピーク出力は100 W一定である。集光レンズの焦点距離は50.8 mmであり、焦点位置におけるスポット径は0.102 mmとなる。

2.2 レーザ加工条件

表1は本実験で使用したレーザー光に関するパラメータである。

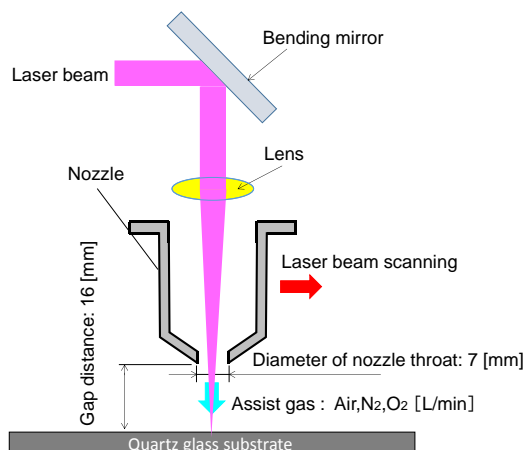


Fig.1 Schematic diagram of laser processing

これまでの研究により、これらのレーザー光照射条件により加工溝性状を制御できることを確認している^[1]。本実験では、表1のレーザー加工条件に統一して、アシストガスが微細溝加工に及ぼす影響について検討した。

アシストガスを Air, N₂, O₂と変化させた場合の溝性状の変化について確認した。次に、加工溝性状が良好であった N₂アシストガスについて、流量を変化させた場合の溝性状に及ぼす影響について評価した。

3. マイクロ流路加工結果

3.1 アシストガス種類が加工溝性状に及ぼす影響

Air, N₂, O₂の3種類のアシストガス（流量：55 L/min）を使用してレーザー加工した溝形状をマイクロ스코ープにて観察した結果を図2に示す。アシストガスの種類による溝断面の変化は見られなかったが、溝底面におけるレーザーパルス痕は、O₂の場合が最も鮮明であった。酸化により除去加工の濃淡が現れた結果であると考えられる。

Table1 Laser processing conditions

Overlap rate [%]	83.4
Scanning speed [mm/s]	203.2
Average power [W]	90
Defocus amount [mm]	0
Number of repeat	1

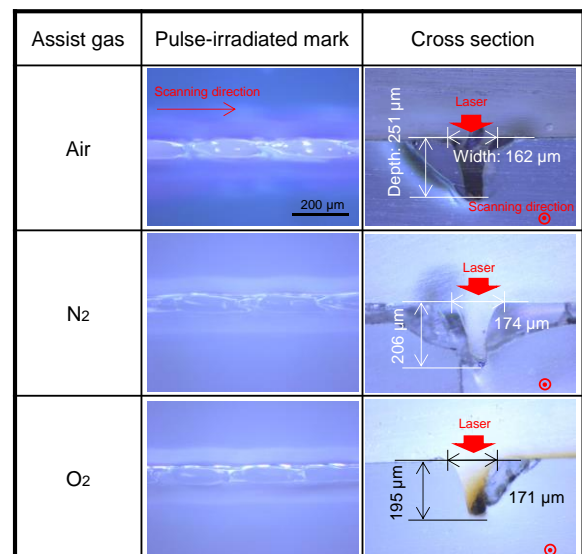


Fig.2 Relationships between microchannel shape and assist gas
Assist gas flow rate: 55 L/min

次に、溝形状の表面状態を確認するため、表面粗さ測定機（ミツトヨ、SJ-500P）により、表面形状を測定した。アシストガスがN₂の場合の表面粗さ曲線を図3に示す。同図より、レーザ加工溝の両淵に盛り上がり確認された。レーザ除去加工により溶融再凝固したガラス材が付着した結果であると考えられる。マイクロ流路チップを製作する上で、この盛り上がりは加工溝上面をシールする場合において課題となる。そこで、アシストガス種類に対する盛り上がり量の変化について確認した。図4にアシストガス種類に対する盛り上がり量（平均値）の違いを示す。Airと比較して、N₂、O₂の場合、0.5 μm以下に低減する結果となった。アシストガスの酸素濃度が、除去加工における溶融物の粘性に影響を及ぼした結果であると考えられる。

以上の結果より、レーザ加工による微細溝形状はアシストガス条件ではなく、レーザ光に関する加工条件が支配的であることが明らかとなった。また、アシストガスの酸素濃度は、加工溝底面の表面凹凸や溝両淵に付着する盛り上がりに対して影響を及ぼすことがわかった。

3.2 アシストガス流量が加工溝性状に及ぼす影響

次に、レーザ加工溝両淵の盛り上がり量が少ないN₂アシストガスについて、流量を10, 30, 55, 80 L/minと変化させた場合に加工溝性状に及ぼす影響を確認した。アシストガス流量に対する盛り上がり量（平均値）の変化を図5に示す。この結果より、流量30 L/minの場合に最も盛り上がり量が約0.2 μmと小さくなることがわかった。流量が低くなるにしがって基板表面でのガス圧

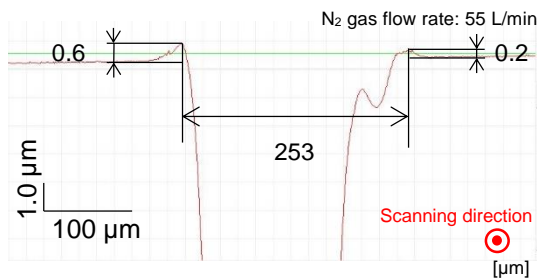


Fig.3 Surface profile of microchannel shape

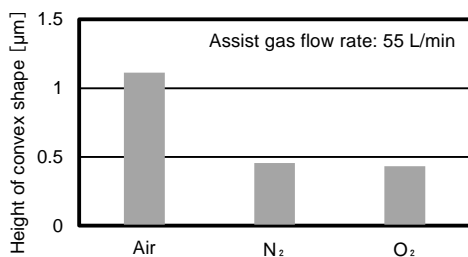


Fig.4 Variations of height of convex shape with assist gas

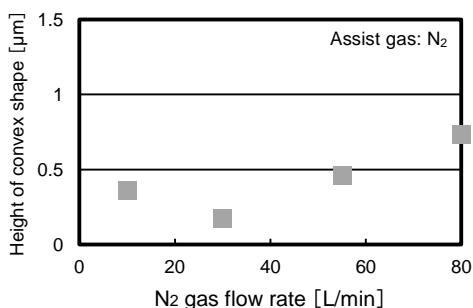


Fig.5 Variations of height of convex shape with gas flow rate

力が低下するため、除去加工における溶融物の粘性が適度に高く、加工溝淵に付着しにくかったことが要因として考えられる。一方、流量が10 L/minと極端に低い場合では、基板上のガス圧力が低すぎるため、アシストガスによる排出効果が弱くなり、加工溝淵に盛り上がりとして付着しやすかったものと考えられる。

4. マイクロ流路チップの試作

4.1 マイクロ流路デザイン

光化学反应用マイクロ流路デバイスを想定したマイクロ流路デザインを図6に示す。マイクロ流路は直線の折返し形状とした。このデザインについて、表1に示すレーザ加工条件で、アシストガスの種類をAir、ガス流量を55 L/minとして、合成石英ガラス基板(26×76×1.0 mm)上にレーザ加工によりマイクロ流路を形成した。入口・出口端子については、別途、レーザ彫刻加工にて凹形状を形成した。

4.2 送液実験

レーザ加工によりマイクロ流路を形成した合成石英ガラス基板の溝加工面とPDMSシート表面をO₂プラズマ処理し、それぞれ70℃で3時間保持して接合することで、マイクロ流路チップを試作した。試作したマイクロ流路チップの外観を図7に示す。

入口端子にエポキシ樹脂接着剤にてシリコンチューブを接続して、シリンジポンプにて流速500 μL/minの純水を流した結果、液漏れせずに流路内を流れた。したがって、合成石英ガラス基板上にレーザ加工によりマイクロ流路を形成して、光化学反应用マイクロ流路デバイスを製作できることを確認できた。

5. 結言

炭酸ガスレーザにより合成石英ガラス基板上に微細溝を加工することでマイクロ流路を形成することができた。アシストガスの酸素濃度や流量が溝性状に及ぼす影響を確認した結果、30 L/minのN₂ガスが良好な溝性状であった。

マイクロ流路チップを試作して送液実験を実施した結果、純水を液漏れなく流すことが可能であった。

参考文献

- [1] 高松優未, 北田良二, 天谷諭, 田中陽: 炭酸ガスレーザによる石英ガラス基板へのマイクロ流路加工に関する基礎的研究, 日本機械学会第13回生産加工・工作機械部門講演会講演論文集, No.19-307 (2019), B09, pp. 137-140.

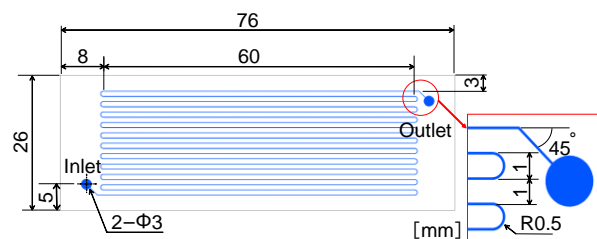


Fig.6 Design of microfluidic

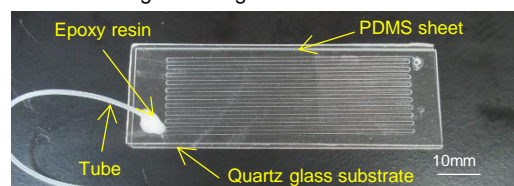


Fig.7 Appearance of microfluidic chip