

YAG レーザの第2高調波を用いたマイクロ加工に関する研究*

Study on micro processing with second harmonic YAG laser

学○加藤 寛満 (金沢大学)
 正 山田 啓司 (金沢大学)
 正 細川 晃 (金沢大学)

学 ヘリー モフタディ (金沢大学)
 正 上田 隆司 (金沢大学)
 正 田中 隆太郎 (金沢大学)

1. 緒言

レーザ加工において、球面レンズなど一点に集光する光学系が多用される。そのため、効率が悪くレーザ光の走査機構による装置の複雑化とコストの増大が考えられる。そこで本研究では、多様な形状の微小レンズを作製し、それを用いてレーザ光を集光させることによって効率のよい加工方法の提案を行う。作製したマイクロレンズによって形成された形状を観察し、照射条件による形状への影響や加工品質について調べ、気中加工と水中加工の比較を行う。また、得られた加工特性を考慮し、微細な形状の形成を行う。

2. マイクロレンズの作製

2.1 作製方法

レンズ基板には透光性に優れたアクリル樹脂を用いる。波長2940nmのEr:YAGレーザをfig.1に示すように、光軸に対して垂直に設置した板材に数分間照射することによって、アクリル板の表面を熱膨張させ凸型レンズを作製する。照射時に基板を二次元走査することにより、さまざまな形のレンズを作製することが可能である。

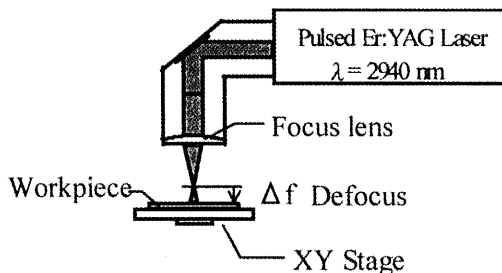


fig.1 Manufacturing set-up for micro lens fabrication

2.2 マイクロレンズ表面形状

作製したレンズをfig.2に示す。左図がステージを一軸方向に移動して作製した円筒形レンズ、右図がステージを円方向に移動して作製したリング状レンズの拡大写真である。図より、レンズ幅はおよそ0.3mmであることがわかる。

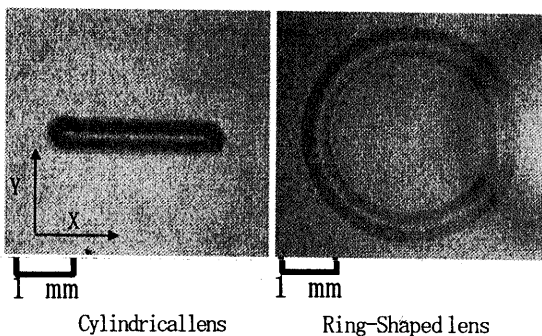


fig.2 Photograph of micro lens processed by Er:YAG laser

レンズ形状測定は触針式粗さ測定器を用いて行う。円筒形レンズの断面プロファイルを図.3に示す。レーザ照射によりアクリル表面が円筒状に膨張していることがわかる。X方向断面形状を観察するとレンズ両端が大きく膨らんでいることがわかる。

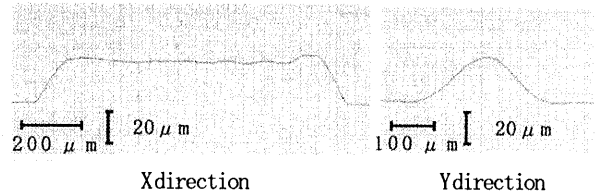


fig.3 Surface profile of micro lens

2.3 光学的評価

集光実験を行い、円筒形レンズの焦点距離の測定及び気中と水中の比較を行う。作製したマイクロレンズにHe-Neレーザを照射し、その集光した光をスクリーンに投影しCCDカメラによる観察を行った。fig.4に気中・水中での観察結果と焦点距離を示す。円筒形レンズを用いたため、光が線状に集光している様子がわかる。また、空気と水の屈折率の違いにより焦点距離がことなる。

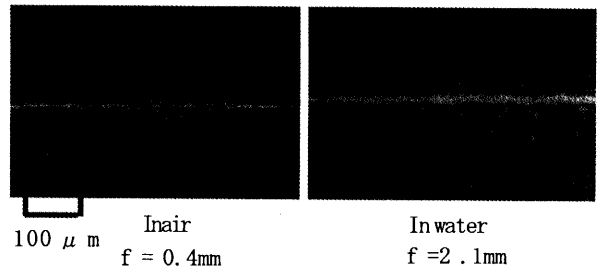


fig.4 Focusing He-Ne laser projected on screen in air/water

3. マイクロレンズを用いた加工装置及び特性

3.1 実験装置

fig.5に水中加工実験装置概略図を示す。レーザはNd:YAGレーザの第二高調波(波長:532nm, パルス幅:5ns)を使用する。光軸に対して垂直にレンズ基板を配置し、作製したレンズによってレーザ光を集光させ加工を行う。試料(シリコンウエハ)はレンズ焦点位置に配置する。水中加工ではアクリル基板に水槽を取り付け、マイクロレンズと試料を水中に設置する。また、試料を自動ステージに取り付け、送りを与えながらの加工を可能にした。

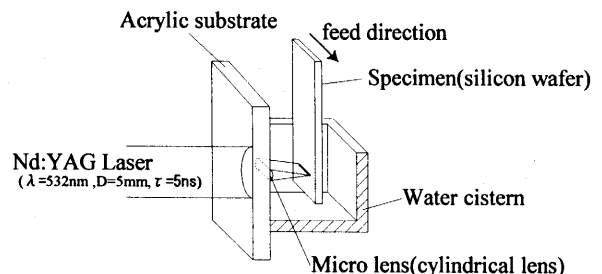


fig.5 Experimental set-up for laser processing in water

3.2 試料断面観察

円筒形レンズを使用して溝加工を行い、試料断面を走査型電子顕微鏡により観察した。気中加工と水中加工の試料断面を図.6に示す。この断面形状観察より、溝の幅と深さを測定し、パルス数の影響について調べた結果がfig.7である。fig.7より、溝幅は気中・水中ともにパルス数によらずほぼ一定であり、溝深さは照射パルス数の増加に伴い比例的に増加する。気中加工では水中加工に比べて溝深

さが大きく、気中加工の方が除去効率が優れている。しかし、fig. 6からわかるように表面には溶融物が付着しており加工品質が劣っている。そこで、今後は加工品質の優れる水中加工で実験を行うこととする。

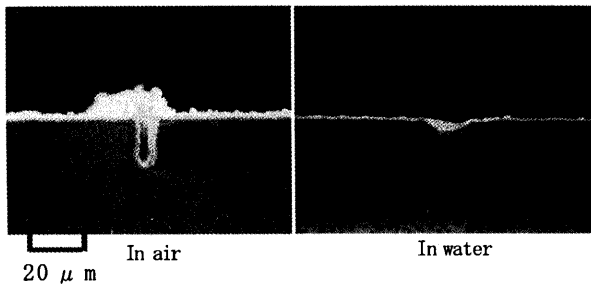


fig. 6 Groove by laser processing with micro lens in air/water (energy=22mJ/pulse, 30pulses, f= 5Hz)

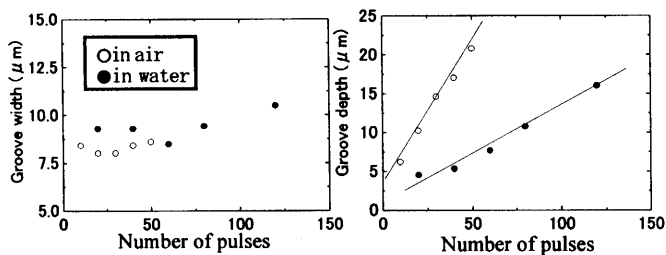


fig. 7 Relation between processing conditions and groove dimension (energy=22mJ/pulse, f=5Hz)

4 マイクロレンズを用いた加工の応用

4.1 多様な形状レンズを用いた加工

様々な形状のレンズを作製し、目的の形状の加工を行う。fig. 8に円筒形レンズ及びリング状レンズ作製して溝加工を行った試料表面及び断面形状を示す。円筒形レンズを用いた場合には直線上の溝が形成され、リング状レンズを用いた場合には円形溝が形成される。断面写真より幅が10 μm、深さが30 μmの溝が形成され、表面には溶融物の付着は見られない。

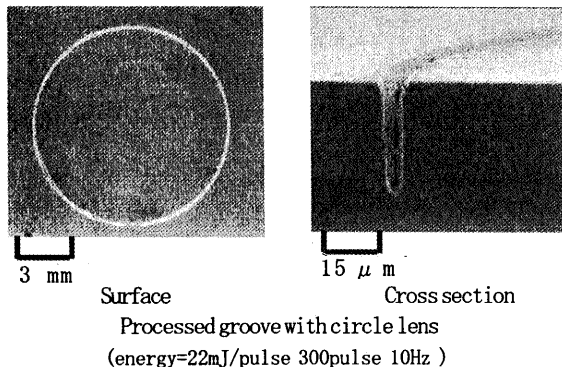
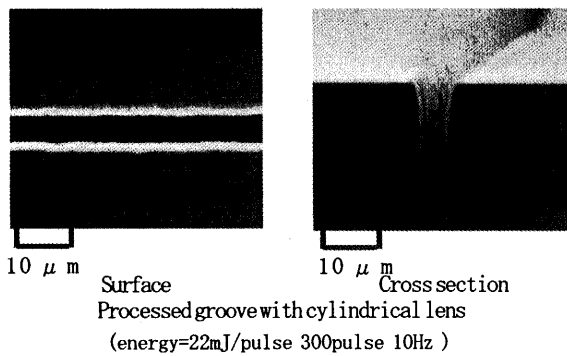


fig. 8 Processing of laser used micro lens

4.2 格子状溝の作製

マイクロレンズを用いた加工に試料の移動を組み合わせることで、より多様な加工が可能である。一例として、30 × 30 μmの格子状溝を作製した。格子状溝の作製方法は、×型レンズを用いレーザーを100パルス照射し、×形状の溝を作製する。次に試料を一定量(43 μm)移動させてレーザー照射し、×形状の溝を作製する。これを繰り返して行うことにより、次々と格子が作製される。fig. 9に×型レンズ及び作製した格子状溝を示す。マイクロレンズによって形成される溝が重なり、格子状の溝が作製されている。

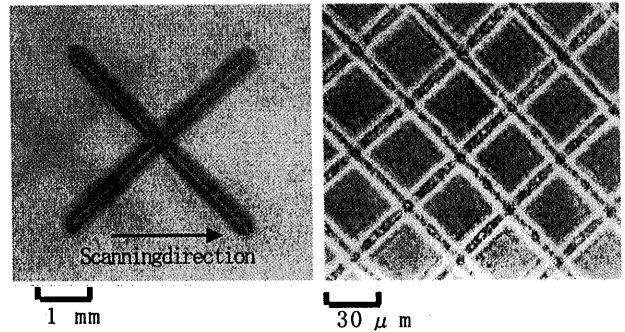


fig. 9 Lens for processing and lattice groove processed surface (energy=22mJ/pulse, 100pulses, f= 5Hz)

4.2 ヘリンボーン溝の作製

試料を数 μm/sと極めて遅い速度で連続的に送ることにより平面の作製が可能である。これをヘリンボーン溝の溝底面部分の加工に利用した。ヘリンボーン溝とは動圧軸受表面に形成される溝として用いられる。この溝をfig. 10のような形状のレンズを作製し、レーザー照射と試料の送りを組み合わせて作製を行った。fig. 11に作製したヘリンボーン溝表面写真を、fig. 12に試料断面形状を示す。試料表面に一樣な溝が形成されヘリンボーン溝が作製されていることがわかる。断面形状観察により試料に深さが一定の溝が作製されていることが確認できる。この底面の粗さはRa=0.3 μmであった。

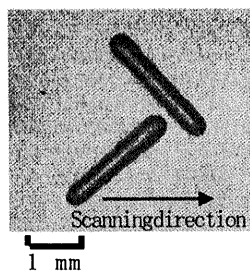


fig. 10 Lens for processing of herringbone groove

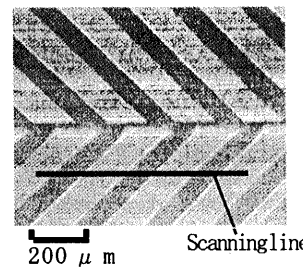


fig. 11 Herringbone groove processed surface

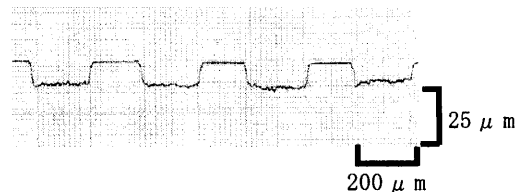


fig. 12 Profile trace of herringbone groove surface (energy=22mJ/pulse, f=10Hz, v=1.2 μm/s)

5. 結論

- (1) 多様なレンズ形状を作製して、形状・光学的性質を調べた。
- (2) 作製したマイクロレンズをレーザー加工の集光系として用いて、ミクロン単位の形状の形成が可能であることが確認できた。
- (3) 水中加工では、試料表面の溶融物付着が見られず良好な加工が行われた。
- (4) 格子状溝・ヘリンボーン溝の作製を行った。