

ガラス、セラミックおよびポリイミドフィルムへの超高アスペクト比

長穴加工法とその形状計測

High aspect ratio laser drilling and the profile measurement
of
Glass, ceramics, and polyimide film

出来 恭一¹⁾島田 幸洋²⁾西村 昭彦²⁾

Kyoichi DEKI

Yukihiko SHIMADA,

Akihiko NISHIMURA

¹⁾有明工業高等専門学校²⁾日本原子力研究開発機構

チタンサファイヤ・フェムト秒レーザの第2高調波を用いた穴加工実験を行い、ポリイミドシートにおいてはその基本波を用いたときよりも熱影響と思われる範囲が小さいことがSEM観察の結果判明し、波長効果が認められた。また第2高調波の波長領域においては吸収がないはずの青板ガラス（吸収端300nm）でも明瞭な加工痕が認められた。

キーワード : TiSa フェムト秒レーザ, 第2高調波, ポリイミドシート

1. 目的

昨年度までの実験結果を踏まえ、今年度はベッセルビーム以外、即ち通常の集光光学系でアスペクト比が高く、真円に近く、且つ加工部周辺へ熱影響が極力少ない加工方法を確立することを目的とした。

2. 方法

通常の集光光学系でアスペクト比が高い加工を行うには焦点深度に着目することが基本である。レーザ加工の分野では、ビームウエスト位置でのパワー密度が90%に低下するまでの距離Zの2倍を焦点深度とすべきことが指摘され[1]、実目的目安として用いられている。Zは

$$w_z^2 = \left(\frac{1}{0.9}\right) \cdot w_0^2 \quad (1)$$

とガウシアンビームの伝搬式とから、

$$Z = \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi w_0^2}{\lambda} \quad (2)$$

で与えられる。ここで、 w_z はパワー密度が90%に低下するビーム半径である。従って、

$$\text{レーザ加工の焦点深度} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\pi w_0^2}{\lambda}$$

となる。つまり、レーザ長のちょうど1/3がレーザ加工分野での焦点深度である。いずれにしても、焦点深度が波長に逆比例することには変りがなく、短波長レーザを用いることにより焦点深度を大きくとることができ、アスペクト比の大きな穴加工をする場合には有利であることがわかる。従って今年度はTiSaフェムト秒レーザの短波長への波長変換（3倍波発生（267nm））をおこない、高アスペクト比の加工を目指した。また、短波長への波長変換により光子エネルギーを4eV以上とすることは、ポリイミド材料における加工部周辺の熱影響の低減や青板ガラスの加工には有利であると考えた。実際、昨年度までの実験結果では、TiSaフェムト秒レーザの基本波を用いたポリイミドの加工実験の場合、加工部周辺に熱影響と思われる部位が加

工直径の3倍程度の直径範囲にわたって認められた。

また穴あけ加工の分野では、真円度が高く要求される場合が少なくない。単なる重ね打ちでは、高真円度が確保できない場合が多い。ビームを微小半径で円周に沿って動かして真円を確保する、いわゆるトレパニングの手法が用いられる。これにはウエッジや斜めに配置された平行平板を回転させる方法、2枚のガルバノ鏡を駆動する方法が知られているが、系の簡略化のためウエッジや斜めに配置された平行平板を回転させる方法を用いた。なお、レーザー光源としては TiSA フェムト秒レーザーのほかに Nd:YAG レーザ(10Hz, 100mJ)の高調波も用いた。

3. 研究成果

TiSA フェムト秒レーザー(100fs)の第2高調波を用いたポリイミドシートの加工実験では、その基本波を用いたとき(Fig.1)よりも明らかに、熱影響と思われる範囲が小さいことを確認した(Fig.2)。即ち、フェムト秒レーザーを用いた場合も波長効果が認められた。また、TiSA フェムト秒レーザーの第2高調波の波長領域においても吸収がないはずの青板ガラス(吸収端 300nm)への照射実験では、厚さ 1270 μ m の貫通はなかったものの、明瞭な加工痕が認められた。



Fig.1: 60 μ J@800nm, 36sec
ウエッジ3回転, 12(sec/round)
ポリイミド



Fig.2: 120 μ J@400nm, 50sec,
ウエッジ回転なし, ポリイミド.

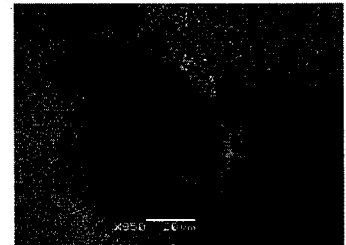


Fig.3: 120 μ J@400nm, 5min
ウエッジ回転なし, 青板ガラス.

4. 結論・考察

フェムト秒レーザーの加工の場合、通常波長効果はないとされているが、TiSA フェムト秒レーザーの基本波と第2高調波のポリイミドへの照射実験結果の比較により、波長効果があることが決定的ではないにしても、SEM写真の観察結果から認められた。また、TiSA フェムト秒レーザーの第2高調波で、青板ガラスに明瞭な加工痕が認められたことは2光子吸収が寄与していると考えられる。なお、今回は真円度を高めるために、傾斜平行平板法、ダブルウエッジ法を用い実験も行ったが、加工痕は真円からほど遠いものとなった。原因は2つあると考えられる。その一つは、レーザービーム自体の縦及び横方向のビーム広がり角が異なるため、集光形状が円ではなくなること、および真円確保のためのビーム周動光学系へのビーム入射軸が、ビーム周動光学系の回転軸と厳密に平行でないことによると考えられる。またTiSA フェムト秒レーザーの第3高調波の発生を試み、10 μ J/pulse 程度のエネルギーを得ることができたが、トレパニング光学系の不備によりアスペクト比改善の比較データとすることができなかった。傾斜平行平板法、ダブルウエッジ法いずれの光学系を用いるにしても入射ビームが回転軸と完全に平行となっていない場合には、試料と周動光学系との距離に比例して、周動半径が大きくなることが判明したため、入射ビームが回転軸と完全に平行となっていることを確認する工夫が必要である。

今後は、現状のビーム周動光学系を改良し、真円をどんな実験条件でも確保できる技術を確立した上で、TiSA フェムト秒レーザーの第3高調波の変換効率を現在の2倍程度以上に向上させ、>15 μ J/shot を実現させ、

これまで不十分であった、TiSA フェムト秒レーザの基本波、第2、および第3高調波での加工痕、アスペクト比の比較を行う必要がある。

謝辞

実験および実験準備にご協力頂いた田間政義氏（㈱東京カソード研究所）、加納廣人氏（有明高専専攻科）、角田淳氏（有明高専専攻科）に深謝します。

なお、この研究の一部は財団法人天田金属加工機械技術振興財団の研究助成金の支援によるものであることを付記する。

5. 引用(参照)文献等

[1]L.Marshall:"Application a la mode", Laser Focus p.26, April(1971).