

フェムト秒レーザーによるシリカガラスの加工特性

陶磁器科 吉田英樹
名古屋工業大学 小野晋吾*
大阪大学 猿倉信彦**

要 約

次世代のDVD装置などに活用可能な導波路デバイスの作製の基礎となる易屈折率加工性ガラスの実現を目指し、ガラス内部の加工手段として用いられるフェムト秒レーザー照射による合成石英ガラスの加工特性について検討した。その結果、照射時間が長いほど歪み領域が拡大することがわかった。また、レーザー出力が大きくなるほど加工領域は大きくなり、側面から見た形状はくさび形となることがわかった。

キーワード：光導波路、レーザー加工、フェムト秒レーザー、シリカガラス

1. はじめに

ハイビジョン記録を可能とする光記録デバイスであるブルーレイディスクは、読み書き用波長が一気に短波長化し、光ピックアップとして405nmの青紫色レーザーを使用する。ここ数年で光記録デバイスの主流がブルーレイディスクへと移行することは確実で、低コスト化や高機能化、コンパクト化のためには、短波長領域で透明かつ十分な屈折率差を持つ新光素材でできた導波路デバイスの実現が不可欠である。

Murataらは紫外波長可変レーザーガラス材料の研究の中で、Ce含有酸化物およびフッ化物ガラスにNd:YAGレーザーの四倍高調波を照射すると、 Ce^{3+} に基づく吸収及び蛍光スペクトルが変化することを報告している^{1, 2)}。 Ce^{3+} は $Ce^{3+} + h\nu \rightarrow (Ce^{3+})^+ + e^-$ で表されるように紫外励起光によって原子価が変化し、光学不活性の Ce^{4+} に類似した電子構造を有する $(Ce^{3+})^+$ へ劣化する。これにより蛍光強度が低下し、レーザー発振が阻害される。しかし、この現象はNd:YAGレーザー程度の低ピークパワーで、かつ集光照射せずにガラスを加工できることを示唆している。また裏を返せば、集光することで、さらに低いレーザーパワーで加工できる可能性がある。

本研究では、次世代のDVD装置などに活用可能な導波路デバイスの作製の基礎となる易屈折率加工性ガラスの実現を目指し、ガラス内部の加工手段として用いられるフェムト秒レーザー照射による加工特性について検討した。今回用いる装置構成においてガラスを加工した場合、どのような加工状態になるか把握する必要があるため、本年度はフェムト秒レーザー加工によく用いられる合成石英ガラスを対象として、加工特性を検討した。

2. 実験方法

本研究では、市販の板状合成石英ガラスを用いた。レーザー照射試験の装置構成は以下のとおりである。照射レーザーは、Ti:Al₂O₃を再生増幅した波長870nm、パルス幅150fs、繰り返し周波数1kHzのフェムト秒レーザーを使用した。レーザーの集光には焦点距離4.5mmのレンズを用い、レーザーの出力はNDフィルターにより調整した。電動ステージに固定したガラス試料を光軸に垂直に移動させることで導波路を作製した。

直交位に組み合わされた2枚の偏光板の間に鋭敏色板を入れた偏光顕微鏡を用いて観察する鋭敏色法によりレーザー照射部を観察した。

3. 結果及び考察

図1は、所定時間（1、10、30、60、300s）合成

* 名古屋工業大学大学院
** 大阪大学レーザーエネルギー学研究中心

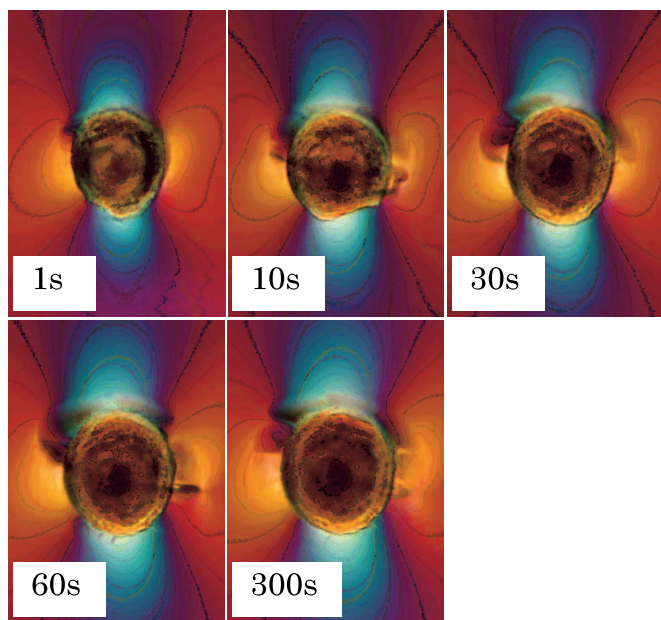


図1 合成石英ガラスに集光したフェムト秒レーザーを所定時間照射したときの、鋭敏色法による入射方向からの顕微鏡写真

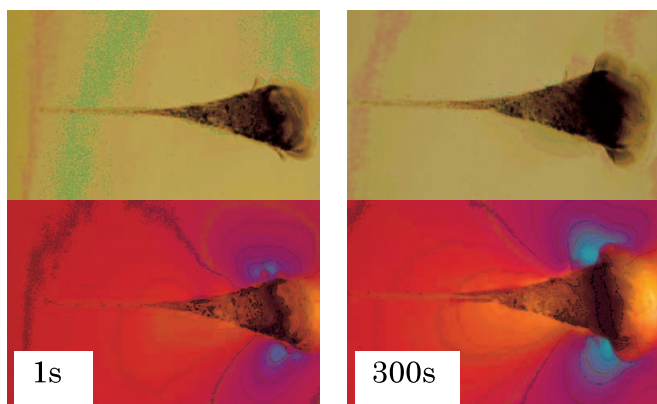


図2 合成石英ガラスに集光したフェムト秒レーザーを所定時間照射したときの、鋭敏色法による側面からの顕微鏡写真
（上段：明視野像 下段：鋭敏色法）

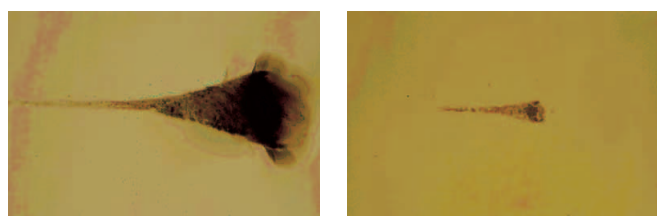


図3 合成石英ガラスに集光したフェムト秒レーザーを300s照射したときの側面からの顕微鏡写真（左：145mW 右：5mW）

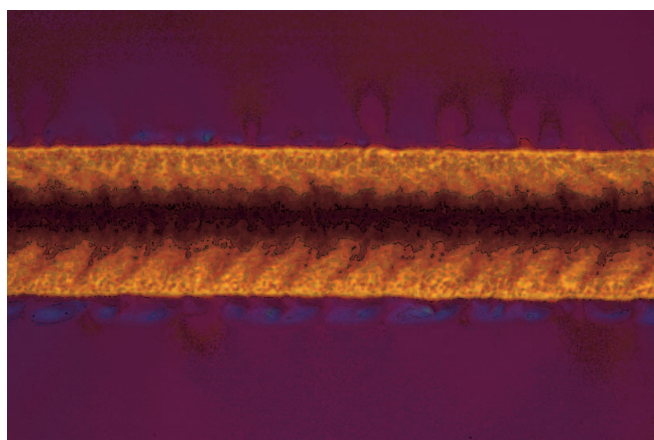


図4 合成石英ガラスを走査しながらフェムト秒レーザーを照射した試料の鋭敏色法による入射方向からの顕微鏡写真

石英ガラスに出力145mWのレーザーを照射したときの照射部を、入射方向から鋭敏色法により観察した写真である。いずれの写真も、レーザーが直接的に作用した円形部分と、その周辺の明るい部分（実際の写真では縦方向が青色、横方向が橙色）からなる。この周辺部分の色分布は歪みを表し、中心から外側に向かって同心円状に応力が分布していることを示す。照射時間が長くなるにつれて、円形部分のサイズがわずかつ大きくなるとともに、周辺の歪み領域も広がっている。すなわち、円形部分の拡大に伴い、歪み部分も拡大している。さらに照射時間の増加に伴う歪みの増大により、クラックも発生している。

照射時間1sと300sの照射部を側面から観察した写真を図2に示す。レーザーの照射方向は写真の右から左である。照射部分を側面から見ると、くさび形となっている。これは、集光したレーザーのビーム形状に由来するものと考えられる。照射時間1sに比べ300sでは、くさび部分がやや拡大するとともに周辺の歪み領域も拡大している。

図3に、レーザー出力145mWおよび5mWで300s照射した照射部の側面写真を示す。レーザー出力を低くすると加工領域の長さが短くなるとともに幅が狭くなるが、形状はくさび形である。非線形屈折率変化により自己収束を起こし、あるエネルギー密度に達した時点から加工が始まると考えられる。

次に、光軸に垂直に25 μ m/sで試料を走査しながら出力50mWのレーザーを1kHzで合成石英ガラスに照射した結果を図4に示す。入射方向からの観察で

はコアとクラッドを形成しているように見えるが、断面形状は図2と同様、くさび形となっている。加工部内に見られる規則的なパターンは、ステップ駆動の電動ステージで試料を走査したことにより形成されたものである。He-Neレーザーを用いた試験の結果、導波は確認できなかった。

4. まとめ

合成石英ガラスにフェムト秒レーザーを集光照射し、照射部分の加工特性について検討した。その結果、照射時間が長いほど歪み領域が拡大することがわかった。また、レーザー出力が大きくなるほど加工領域は大きくなり、側面から見た形状はくさび形

となることがわかった。レーザー照射部の断面形状は、くさび型ではなく円または楕円になるとの報告³⁾もあることから、今後は照射部の加工形状と照射条件の関係についてさらに検討していくとともに、本テーマの主目的であるフッ化物ガラスについて加工特性を検討する。

文献

- 1) T. Murata et al., J. Non-Cryst. Solids, 351, 312 (2005).
- 2) T. Murata et al., Phys. Chem. Glasses, 46(2), 220 (2005).
- 3) K. Miura et al., Appl. Phys. Lett., 71(23), 8 (1997).