

# ガラス・ホログラムにより 75 フェムト秒で作製した 三次元微細加工構造

社団法人ニューガラスフォーラム つくば研究室

田中 修平, 山地 正洋, 川島 勇人, 鈴木 潤一

## Three dimensional micromachining at a 75 femtoseconds laser pulse through a glass-hologram

Shuhei Tanaka Masahiro Yamaji Hayato Kawashima and Jun'ichi Suzuki

*Nanotechnology Glass Project New Glass Forum ,*

### 概要

三次元光デバイス高効率製造技術国家プロジェクトで筆者等がこれまでに取り組んできた研究成果により、ガラス・ホログラムとフェムト秒レーザーパルスを用いることで透明媒質内部に 80 個の異質相を一瞬の 75 フェムト秒 ( $7.5 \times 10^{-14}$  秒) で作製することに成功した。その概要を以下にまとめた。

#### 1. まえおき

フェムト秒パルスレーザーによる加工は熱的な影響が非常に少なく、意図した領域に所望の加工ができるため、光学デバイス製造をはじめとする様々な微細加工への適用が期待されている。しかし単に集光フェムト秒パルスレーザーを用いただけでは、煩雑な作業の繰返しが多くなり非効率的な加工となる。例えば図 1 のように三次元微細加工領域に 24 個のドット型異質相 (異質相 = レーザー加工により物理的・化学

的に変質された領域で、主に非加工部分とは屈折率が異なることで特徴づけられる) を加工する場合、ドットを個々に加工してサンプルを動かすというサイクルが 24 回必要である。フォトリソグラフィや光メモリのようなデバイスの場合、その数は数千~数万にもものぼるため、実用化には現在の逐次加工では加工時間が大きなネックとなる。そこで本プロジェクトでは、ガラス・ホログラムを用いることで全ての異質相を

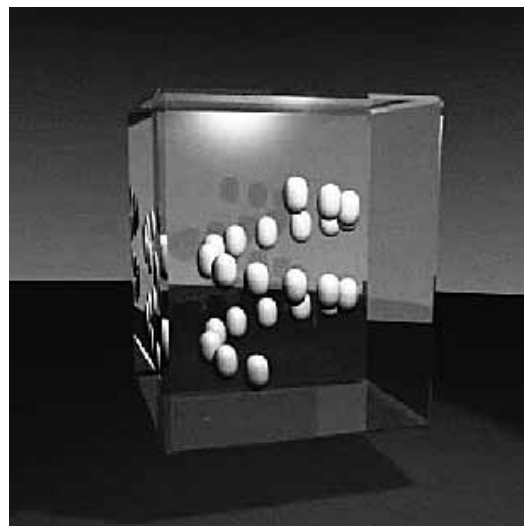


図 1 三次元微細構造モデル例

〒300 2635 茨城県つくば市東光台 5 9 1  
つくばイノベーション・ベース 3 F

TEL 029 848 1880

FAX 029 848 1882

E mail : tanak-s@newglass-lab.jp

一括で加工する手法の開発をテーマの1つとして取り組んでいる。レーザーの波長に対して透明な媒体の場合、少なくとも2光子以上（合成石英であれば5~6光子が必要）の多光子吸収過程を伴わなければ加工を行うことはできない。したがって、狙った領域でのみ光子密度が加工閾値を超える必要がある。これを実現するために、ガラス・ホログラムでレーザーパルスの位相分布を制御する。これが本加工法のメカニズムの概要である。

## 2. ガラス・ホログラムによる一括加工システム

用いた加工系の概要を図2に示す。光源となるフェムト秒パルスレーザーは波長800nm、繰り返し周波数1kHzのチタンサファイヤレーザー（Femtolasers/FEMTOPOWER compact PRO）であり、パルス幅は25735fsで可変であり、最大出力は約700μJ/pulseである。

このレーザーから発せられたパルスはまずガラス・ホログラムを通過する。ここで用いているガラス・ホログラムは位相型ホログラムであり、厚さ1mmの石英基板にドライエッチングによってパターンを掘り込んだものである<sup>1)</sup>。パターンの直径は8mmで、パルスの直径に等しい。これによって位相制御されたパルスはガラスサンプル内部に集光される（当研究室では10mmサイズの瞬時加工も可能）。本報告書で示す加工結果は合成石英ガラスサンプルが用いられているが、レーザーの波長に対して透明であれば様々な媒体への加工が可能である。

## 3. 三次元パターンの作製例

加工の一例を図3に示す。これは図1の24個の異質相からなる螺旋構造を実際に作製したものである。直径約2μmの球状の異質相がそれぞれ狙った位置に加工できていることが分かる。このような加工を行う際に常に問題となるのが“光軸方向への伸び”である。実際に筆者

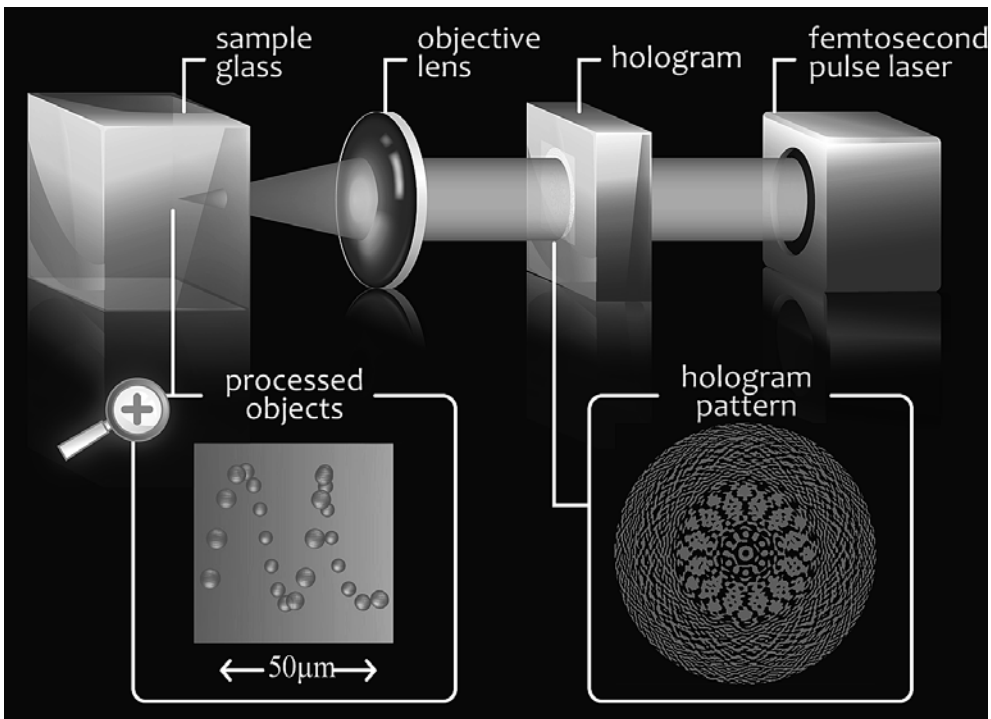


図2 三次元微細加工システム概略図

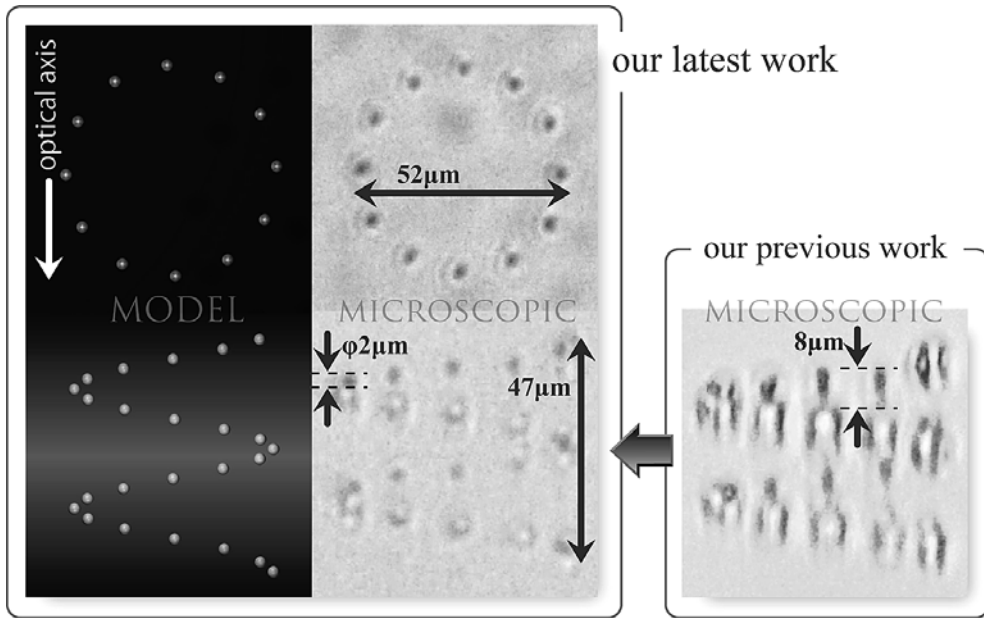


図3 加工例（モデル図と光学顕微鏡写真）：左図上側は光源方向から、下側はそれに垂直な方向からの観察像。右図は過去の加工例で、現在は光軸方向への伸びを抑えた均一な加工ができていることがわかる。加工時間は75 f sである。

等もこれまではこの“伸び”を抑えることができず、図3右側のようなカプセル形状になっていた<sup>2)</sup>。この“伸び”を抑えた加工の実現には、光強度分布プロファイルにおいて、より“伸び”を抑えるホログラムが必要である。このため、図2に示した加工系の構築では、ガラス・ホログラムや対物レンズ、サンプルガラスなどの配置を工夫し、可能な限り“伸び”が抑えられるホログラムの設計要件を得られるようにした。この加工系を基に、各球形状の光強度均一性や導入するレンズなどの影響も考慮に入れてホログラムを設計した。また、このホログラムを用いた加工においても工夫が必要である。それは各球形状の光強度分布のピークと加工閾値が極力近づくように、レーザー加工条件を最適化することである。実際に24個すべてのピークと加工閾値の調和がとれた条件により、図3左側のような加工が実現できた<sup>3)</sup>。

また本プロジェクトの目標の1つに「60 µm角の立方体内に100個以上の異質相を作製する」ことが掲げられているため、これを満たす

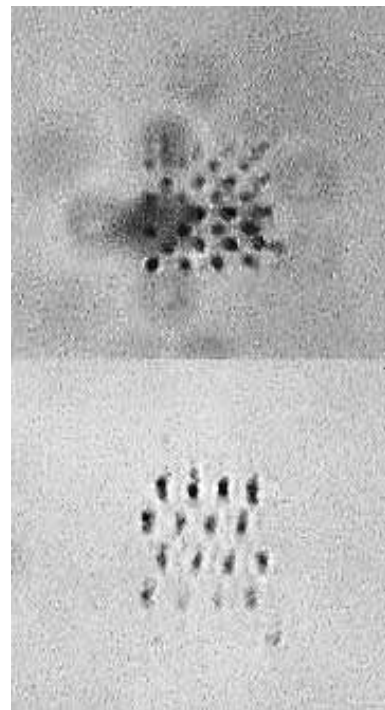


図4 加工例（光学顕微鏡写真）：上側は光源方向から、下側はそれに垂直な方向からの観察像。加工時間は75 f sである。

べく現在様々なホログラムによる実験を行っている。図4に示した加工結果もその1つで、これは4×4の16点が5層にわたって分布する合計80個の異質相である。このように異質相の数や加工体積が大きくなるに従い、様々な問題が明らかになってきた。プロジェクト終了までの残された時間にこれらの問題を解決し、目標値をクリアするだけでなく、様々な光学デバイスへの応用を見込んだ自由度の高い加工を目指して研究を行っている。

#### 謝辞

本研究は、経済産業省のプロジェクトである

「<ナノテク部材イノベーションプログラム> 三次元光デバイス高効率製造技術プロジェクト」の研究として、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託を受けて実施されたものである。

#### 参考文献

- 1) J.Suzuki ,M .Yamaji ,and S .Tanaka ,Proc .SPIE 7201 ( 2009 ) 72011 C .
- 2 ) M .Yamaji ,H .Kawashima ,J .Suzuki ,and S . Tanaka ,APPLIED PHYSICS LETTERS 93 ,041116 ( 2008 )
- 3 ) M .Yamaji ,H .Kawashima ,J .Suzuki ,and S . Tanaka ,J .Optoelectr .Adv .Mat .12 ( 2010 ) 474 .