

空間光位相変調器と三次元光デバイス高効率製造技術

浜松ホトニクス株式会社 中央研究所

原 勉

Spatial light phase modulator and its application to high-efficiency laser processing for 3-D optical devices

Tsutomu Hara

Central Research Laboratory, Hamamatsu Photonics K. K.

1. はじめに

NEDO「三次元光デバイス高効率製造技術」プロジェクトでは、フェムト秒レーザーと、波面制御素子としてのホログラムを用いて、ガラス内部への多点同時加工を目指している。そのうち、可変型の三次元加工システムの実現に向けた研究を当社は担当してきた(研究テーマ「空間光変調器三次元加工システム技術」)。

三次元多点同時加工の自由度を高める書き換え可能なホログラムとして液晶空間光変調器 LCOS-SLM (Liquid Crystal on Silicon Spatial Light Modulator)¹⁾がその光波形成形・光波面補償の機能から重要な役割を果たす。そのためプロジェクトにおいて当社は、フェムト秒レーザー光に対して耐光性を有する LCOS-SLM の開発、LCOS-SLM とフェムト秒レーザー加工システム本体との光学接続に適した光波面制御モジュールの開発、および加工の速度・精度・機能の向上を図る光波形成形技術や光波面補償技術などの波面制御技術の開発を進めた²⁾。そ

の結果、本研究開発項目について、平成 21 年度で研究開発を終了することができた。

2. フェムト秒レーザー加工用 LCOS 型空間光変調器の開発

図 1 に、本プロジェクトのキーデバイスである LCOS-SLM の構造を、図 2 に外観を示す(有効面積：16 mm×12 mm)。アドレス部は、シリコン基板に CMOS アクティブマトリクス回路が形成され、その上に画素電極が配置されている。光変調部は、シリコン基板とガラス基板の間に保持されたネマチック液晶層から成

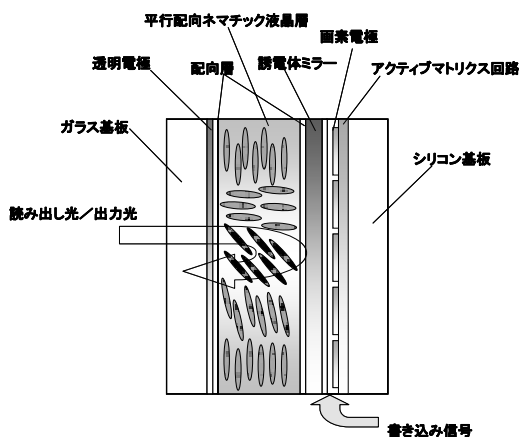


図 1 LCOS-SLM の構造

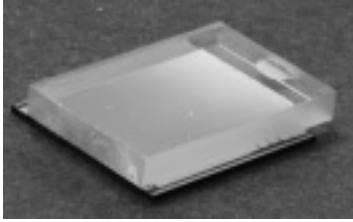


図 2 LCOS-SLM の外観



図 3 光波面制御モジュール (右) とコントローラー

り、液晶分子は基板に平行に配向されている。書き込み信号の大きさに応じて液晶分子が傾き、屈折率が変化するので、読み出し光に位相変化を与えることができる。本プロジェクトでは、強力なフェムト秒レーザーに耐えられるデバイスを実現するため、デバイスを構成する光学薄膜の研究開発およびデバイスの構造の検討をおこない、 50 GW/cm^2 (100 fs, 1 KHz) のフェムト秒レーザーパルスへの耐光性を確認した。

また、開発した LCOS-SLM の性能を最大限に活かし、かつ可変型の三次元加工システムへの導入を簡易にする光波面制御モジュールの開発を進めた³⁾。完成した光波面制御モジュールの外観写真を図 3 に示す。従来、空間光変調器により波面制御を行う場合には、専用の光学系を構築する必要があった。この場合、光学系が煩雑になるばかりで無く、綿密な光学調整技術を必要とした。これに対し、光波面制御モジュールは、既存の光学系に配置するだけで、容易に波面制御を行うことを可能とするものである。特に、プリズム型のミラーを用いることに

より、既存の光軸を維持した状態で波面制御を行うことが出来るため、小型化、操作性の向上が実現されている。

3. 高機能三次元加工のための LCOS-SLM による波面制御技術の開発⁴⁻⁷⁾

任意の光パターンを生成するためには LCOS-SLM に入力する計算機合成位相ホログラム (CGH) の作成が重要な技術となる。図 4 に示すように、CGH パターンを LCOS-SLM に書き込むことにより、単一のレーザービームを多点のレーザービームに変換することができる。このようにすれば、透明材料内部にレーザー光の集光点を多点とし、多点同時加工できるので、加工効率を向上できる。

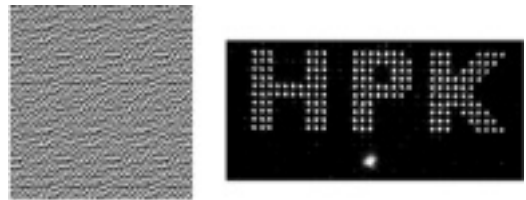


図 4 CGH (左) と多点レーザービーム (右)

一方で、透明材料内部に光を集光する際には球面収差が生じるため、集光領域が大きくなると共にピーク強度も低下し、加工の精度と効率が悪化する。そこで本プロジェクトでは、レーザー多点形成と球面収差補正を一台の LCOS-SLM で同時に実現した。光学系を図 5 のように構成し、図 6 のホログラムパターンを LCOS-SLM に書き込むことで、図 7 に示すように 2

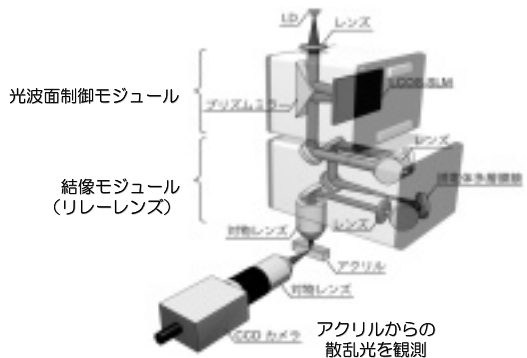


図 5 実験光学系

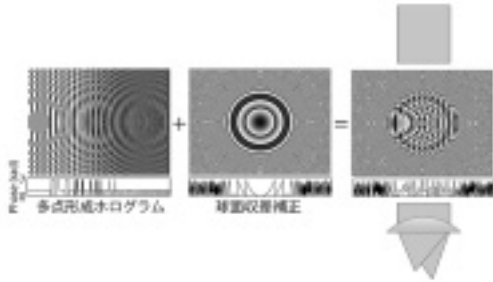


図6 多ビーム形成と収差補正を同時に行うためのCGHパターン(右)

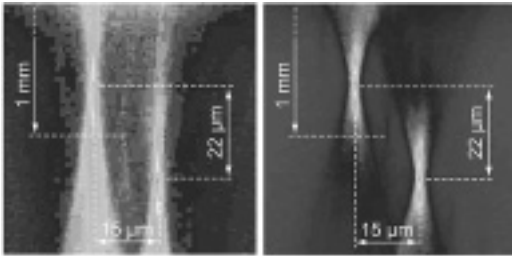


図7 透明材料内部のレーザービームの集光の様子
(左)収差補正なし (右)収差補正あり

つのレーザービームが縦横異なる位置に集光され、かつ収差補正をしないときに比べて集光点が小さくて明るいことがわかる。この手法を用いて、球面収差を補正しながら、集光位置が3次元的に制御されたフェムト秒レーザーを多点に形成し、ガラス内部を加工できることも実験で確認した。

4. あとがき

以上、当社の研究開発項目において最終目標を達成できた。すなわち、空間分解能45万画素以上の高精細化、変調速度50 Hz、光位相変調度 2π ラジアン以上(中間値制御も可能)、50 GW/cm² (100 fs, 1 KHz)のフェムト秒レーザーパルスへの耐光性を有するフェムト秒レーザー光波面制御モジュールを実現した。また、

フェムト秒レーザー加工に必要な波形成形、収差補正を実現する高機能三次元加工のためのLCOS-SLMによる波面制御技術の開発も終了した。

最後になりましたが、NEDO 技術開発機構 ナノテクノロジー・材料技術開発部 坂井主査、プロジェクトリーダーの京都大学 平尾教授、サブリーダーの京都大学 三浦准教授、ニューガラスフォーラムつくば研究室 田中室長、およびNEDO 技術開発機構、ニューガラスフォーラムと京都大学の関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) T. Inoue, H. Tanaka, N. Fukuchi, M. Takumi, N. Matsumoto, T. Hara, N. Yoshida, Y. Igasaki, Y. Kobayashi, "A reflective LCOS spatial light modulator controlled by 12-bit signals for optical phase only modulation," SPIE Photonics West [6487-31] (2007).
- 2) 伊藤晴康, 大林 寧, 田中 博, 原 勉; 「空間光変調器を用いた高強度フェムト秒レーザー光波面制御」, オプトロニクス, 4, (2009) 1-6.
- 3) 伊藤晴康, 井上卓, 福智昇央, 松本直也, 原勉; 「高強度フェムト秒レーザー用波面制御モジュールの開発」, レーザー学会学術講演会第28回年次大会講演予稿集, D4-31 pVI3 (2008).
- 4) 伊藤晴康, 井上卓, 福智昇央; 「空間光位相変調器を用いた球面収差補正の検討」, 応用物理学学会学術講演会予稿集, 4 a-V-2 (2008).
- 5) 伊藤晴康, 松本直也, 井上卓; 「屈折率ミスマッチ球面収差の空間光変調器を用いた高精度補正」, 日本光学会年次学術講演会予稿集, 24 pP 20 (2009).
- 6) 伊藤晴康, 松本直也, 井上卓; 「多点制御による空間光変調器を用いた球面収差補正の検証」, レーザー学会学術講演会第30回年次大会講演予稿集, D94 p IV 005 (2010).
- 7) Haruyasu Itoh, Naoya Matsumoto, and Takashi Inoue; "Spherical aberration correction suitable for a wavefront controller", Opt. Express, 17, (2009) 14367-14373.

事務局からのお詫び

機関誌 NEW GLASS 3月号掲載「三次元光デバイス高効率製造技術・最前線」の執筆者澤野勉様のE-mailに誤りがありました。正しくは「sawano@ngf.or.jp」になります。大変申し訳ありません。