

「三次元光デバイス高効率製造技術」を活用した 回折光学素子の作製

(社)ニューガラスフォーラム 京都大学

澤野 勉, 三浦 清貴, 坂倉 政明, 平尾 一之

Fabrication of Diffractive Optical Element by “High-Efficiency Processing Technology for Three-Dimensional Optical Devices”

Tsutomu Sawano, Kiyotaka Miura, Masaaki Sakakura, and Kazuyuki Hirao

New Glass Forum, Kyoto University

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」については、過去7回にわたって連載され、また京都大学における研究体制と研究の現状についても、本機関紙「NEW GLASS」シリアル番号88号、89号、93号に3回掲載されている。本稿では、その中に記載された「三次元光デバイス高効率製造技術」を活用した回折光学素子の作製について詳述する。

2. 回折光学素子

回折光学素子(DOE)は、光波の回折現象を利用した光学素子で、回折格子はその代表的な光学素子である。近年、ホログラフィー技術やリソグラフィ技術の発展とともに多機能化が進み、多くの光学素子が出現している。具体的には、光分岐素子、ビーム整形素子、球面収差補正レンズ等であり、身近なものとしてはCDプレーヤーの光ピックアップがある。また、遠近二焦点のコンタクトレンズ、安価なカード

型ルーベにも応用されている。

これらの回折光学素子はいずれも表面凹凸素子である。この表面凹凸素子は、生産上金型等による複製が容易である反面、一つの素子の両面2か所にしか凹凸を形成できないという制限がある。もし、この回折型構造を材料の内部に任意に高効率で創製することができれば、画期的な三次元デバイスが実現する。

NEDO「三次元光デバイス高効率製造技術プロジェクト」で開発されたフェムト秒レーザーによるガラスへの一括加工技術は、ガラス中の任意の位置に高効率で回折現象のベースとなる異質層を発生させる技術であり、今後回折光学素子の応用発展に無限の可能性を与える。

本稿では、この回折光学素子の中から光分岐素子を取り上げ、数値シミュレーションによる評価、さらに実際にフェムト秒レーザーによる一括加工でガラス中に作製したその光学素子について現状を報告する。

3. 光分岐回折光学素子の数値シミュレーションによる評価、設計

1本の光ビームを多くの光ビームに分岐する回折光学素子の代表的なものがダンマン格子と言われる回折格子¹⁾である。このダンマン格子

〒615-8510 京都市西京区京都大学桂 A 3-120

TEL 075-393-3851

FAX 075-393-3861

E-mail: TsucomuSawano@mail.nsg.co.jp

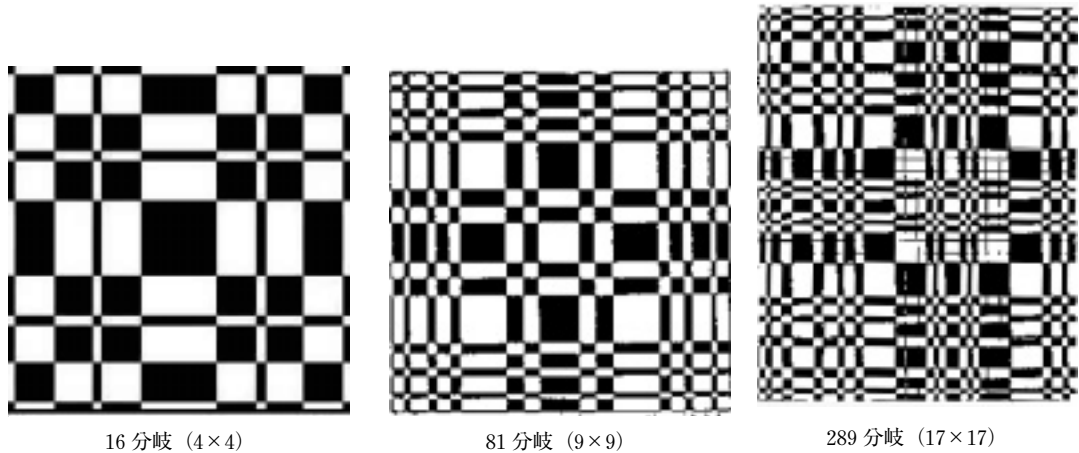


図1 種々のダンマン回折格子パターン

は、過去多くの研究者によって研究され、分岐数に応じた回折格子パターン²⁾が見出されている。その中から図1に16分岐(4×4)、81分岐(9×9)、289分岐(17×17)の格子パターンを示す。図1において、黒の領域と白の領域の光の位相差は π となっている。この時、これらの回折格子は0次光の存在しない等しい強度の光分岐を実現させる。当該位相差が π から逸脱すると、0次光が出現する。

図1の16分岐格子パターンを例に、数値シミュレーションで評価した種々の位相差のときの光分岐の様子を図2に示す。図2から、位相差が π の時は0次光が完全消失するものの、 π から逸脱するにつれて回折光が弱くなると同時

に0次光が強く出現する。

図1に示す16分岐のダンマン格子パターンを用いた場合、こうした0次光発生の問題に加えて、16の分岐光が完全には等しい強度にならず、図2に見られるように一部の分岐光が分裂する問題が発生する。こうした問題を解決するためには、ダンマン格子パターンの微調整が必要であり、それはたとえば遺伝的アルゴリズムを用いた手法等でなされるが、本稿では割愛する。

4. 三次元一括加工システムを用いた回折型光学素子の作製

光16分岐回折格子(ダンマン回折格子)を、

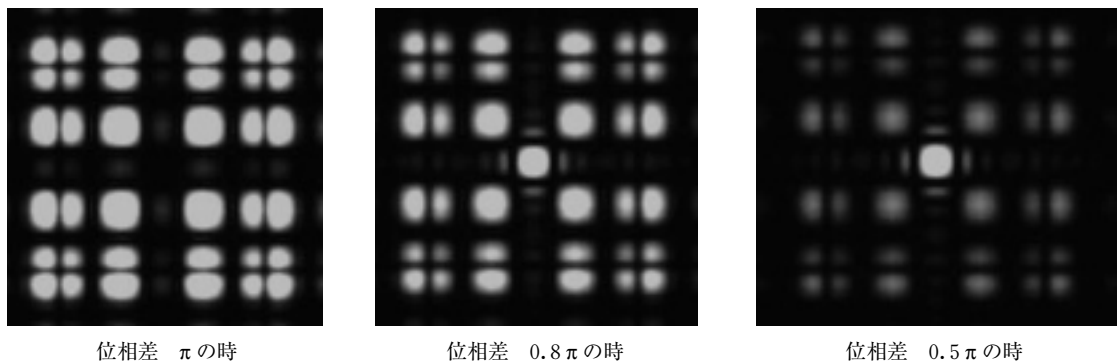


図2 16分岐ダンマン格子による光分岐の様子(数値シミュレーションによる画像)

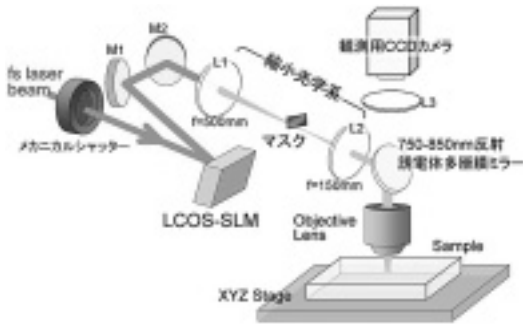


図3 本プロジェクトで開発されたフェムト秒レーザー一括加工システム

図3に示す本プロジェクトで開発されたフェムト秒レーザー一括加工システム（機関紙「NEW GLASS」シリアル番号93号に掲載済）で作製した。ガラス中の集光点において光励起が起こり、密度変化や組成変動領域が形成される。その結果生じる屈折率変化による位相差を利用した回折光学素子や高屈折率化を利用した光導波路³⁾描画が可能となる。

ガラス中に作製したダンマン回折格子およびそれによる光の16分岐を図4に示す。光の分岐はビームプロファイラで測定した。

図4では、中心に強い0次光（入射光強度の約50%）が出ており、数値シミュレーションとの比較からこの時の位相差は 0.6π であることが判明した。0次光消失のためには、 π まで高める必要があり、フェムト秒レーザーの周波数、パワーの最適化、多層描画、高屈折率変化を生み出すガラスの採用等の工夫を実施するこ

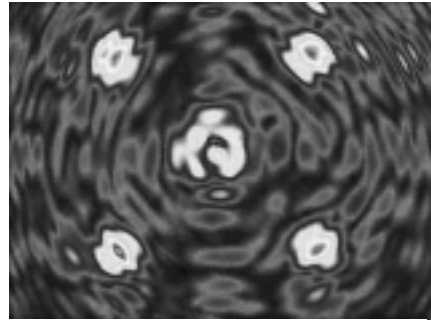
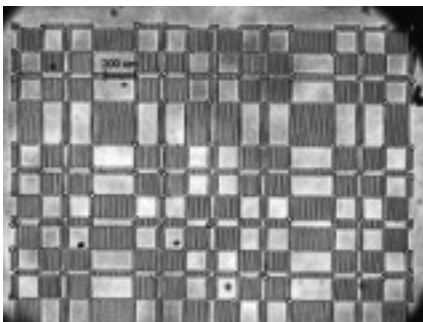


図5 0次光が激減した光分岐（16分岐の内、中央4分岐を拡大）

とで、図5に示されるように0次光が激減（入射光強度の約3%）した光分岐回折格子の作製が可能になった。

5. おわりに

「三次元光デバイス高効率製造技術プロジェクト」で開発された一括加工システムを用いて従来にはない「ガラスの中に高効率で回折光学素子を作製する」ことを試みた。最大の課題であった0次光の消失、言い換えれば、数値シミュレーションによる設計どおりの回折光学素子を実際にガラスの中に実現することが概ね可能になった。このことは本稿で取り上げた光分岐素子にとどまらず、本加工システムが多くの回折光学素子の作製に適用可能であり、ガラス中の任意の位置に複数の回折光学素子を一括作製するという夢の三次元デバイス実現に大きく貢献するものと期待できる。

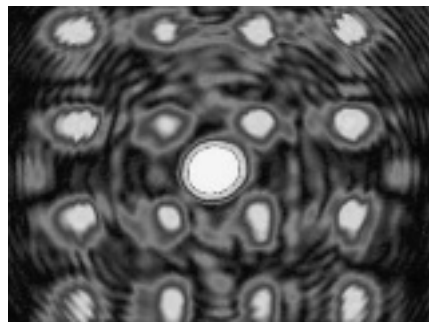


図4 ガラス中に作製したダンマン回折格子および実際に16分岐した様子

謝辞

本稿で記載された内容は、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）三次元光デバイス高効率製造技術プロジェクトの中でなされたものであることを付記し謝意を表します。

参考文献

- 1) H. Dammann and K. Gortler, *Opt. Commun.*, 3(1971) 312
- 2) C. Zhou and L. Liu, *Appl. Opt.*, 34(1995) 5961
- 3) M. Sakakura, T. Sawano, Y. Shimotsuma, K. Miura and K. Hirao, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 48 (2009) 126507