

# 「三次元光デバイス高効率製造技術」 プロジェクトの中間評価

(社) ニューガラスフォーラム

外池 正清

## The Middle Evaluation of “High-efficiency Processing Technology for Three Dimensional Optical Devices” Project

Masakiyo Tonoike

New Glass Forum

### 1. はじめに

「三次元光デバイス高効率製造技術」プロジェクトは、平成18年7月より(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、NEDO)から(国)京都大学平尾研究室と(社)ニューガラスフォーラム(以下NGF)、浜松ホトニクス(株)と共同委託を受けた。当フォーラムは、独自の筑波研究室で会員メンバーとともに集中研究している。プロジェクトの5年計画のうち本年度で3年目にあたり、昨年8月にNEDOの中間評価を受け「優」の評価を得ることができたので、報告する。本プロジェクトの概要は、平成18年の機関誌12月号(No.83)で紹介しており、また、現在の研究の進捗状況等については、当機関誌の各号で連続連載しているので、今回は中間評価で報告した達成状況の抜粋と評価結果に絞って報告する。

### 2. NEDO中間評価

平成20年8月22日、NEDO日比谷オフィスで柴田分科会長(東工大教授)を評価委員長とする7人の評価委員から中間評価を受けた。5年間の国家プロジェクトは、3年目に中間評価があり、プロジェクトの中間目標に対し

て実施される。

目標に対し未達だと計画の見直しが行われ、あまりにかけ離れた結果だと打ち切りになる場合もありうる。三次元光デバイスの中間目標と最終目標を【図1】に示す。

### 3. 中間評価で報告の達成状況<概略>

#### ①デバイス化加工用ガラス材料技術

##### ①-(1)デバイス加工用ガラス材料技術目標 [京大、NGF]

ポンププローブ法により、異質相形成のメカニズムを解明した。フェムト秒レーザー集光照射により、音速に近い速度で内部を伝搬する圧力波によりガラス構造が中心から周囲へと押し広げられ、レーザー照射を止めた時点で中心に向かって圧縮応力が働く。結果として傾斜的な高密度領域がガラス内部へ形成され、その状態が超急冷凍結される。最終的に形成される屈折率分布は、レーザーの照射条件とガラスに依存する。

##### ①-(2)三次元光学デバイス用ガラス材料技術

[NGF]

可視光領域で屈折率変化0.01以上となる透明な三次元光学デバイス用ガラス材料を開発した。

研究開発項目別目標値

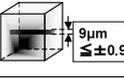
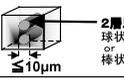
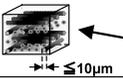
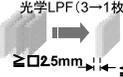
研究開発項目	中間目標	最終目標
①デバイス加工用ガラス材料技術共通目標	自主目標：異質相形成メカニズムの解明、データの体系化(異質相形成の閾値、速度やサイズのガラス材料依存性)	
	 異質相と母材の屈折率差 $\Delta n \geq 0.01$ 可視光領域(400-760nm)	 異質相と母材の屈折率差 $\Delta n \geq 0.015$ 可視光領域(400-760nm)
	 直線導波路(レーザー照射条件最適化)： 光伝搬損失 $\leq 0.1\text{dB/cm}$ 波長 $1.55\mu\text{m}$ @Single Mode	 直線導波路(三次元加工システムで作製) 光伝搬損失 $\leq 0.1\text{dB/cm}$ 波長 $1.55\mu\text{m}$ @Single Mode
②三次元加工システム技術	60 $\mu\text{m}$ × 60 $\mu\text{m}$ × 60 $\mu\text{m}$  9 $\mu\text{m}$ $\leq \pm 0.9\mu\text{m}$  10 $\mu\text{m}$ 2層以上の球状異質相 or 棒状異質相 <b>三次元基本加工機能を確認</b>	60 $\mu\text{m}$ × 60 $\mu\text{m}$ × 60 $\mu\text{m}$  10 $\mu\text{m}$ 100個以上の球状異質相 or 棒状異質相 <b>100倍以上の高速加工を実現</b>
	 ホログラム設計速度 $\geq \times 3$ (従来比)	 ホログラム加工精度 $\leq \pm 40\text{nm}$ 設計速度 $\geq \times 10$ (従来比)
	空間光変調器：変調速度 30Hz 光位相変調度 $\geq \pi \text{ rad}$ 耐光性 $\geq 30\text{GW/cm}^2$ (100fs, 1kHz)	空間光変調器：変調速度 50Hz 光位相変調度 $\geq 2\pi \text{ rad}$ (0~ $2\pi$ で制御可) 耐光性 $\geq 50\text{GW/cm}^2$ (100fs, 1kHz)
③三次元加工システム応用デバイス技術	光学LPFの一次設計 ・光学LPFの試作(多点描画) ・方向無依存性の確認(シミュレーション & 試作確認)	光学LPF(3→1枚)  一括描画で確認 2光軸開き角 $> 0.236^\circ$ モアレ抑制の確認
	波面制御法(ホログラム)で直線導波路  光伝搬損失 $\leq 0.1\text{dB/cm}$ 波長 $1.55\mu\text{m}$ @Single Mode	直線導波路  9 $\mu\text{m}$ 光伝搬損失 $\leq 0.1\text{dB/cm}$ 波長 $1.55\mu\text{m}$ @Single Mode 3次元光カプラ：1×16 挿入損失 $\leq 17\text{dB/cm}$ 反射減衰量 $\geq 45\text{dB}$ 波長 $1.50\sim 1.60\mu\text{m}$

図1 研究開発項目別目標値

異質相の屈折率変化を可視光領域で定量位相顕微鏡を用いて、面分解能：サブミクロン以下、測定精度： $0.001 \pm 0.0005$  以下の分解能で測定する評価方法を確立した。

また、得られた光学的ローパスフィルタの三次元形状における屈折率変化を非破壊で調べる方法として、三次元測定器での評価方法を確立した。

①-(3)三次元光回路導波路デバイス用ガラス材料技術 [京大、NGF]

逐次描画法(従来法)で各種ガラスに直線導波路を形成し、中間目標である伝送損失：0.1 dB/cmの光導波路描画が可能でガラス材料を選定した。フェムト秒レーザーによる新しい異質相形成法として、イオン移動により元素分布を形成して高屈折率化が実現できるガラス材料を見出した。このイオン移動現象を利用することで、Siナノ微粒子や構造体が析出可能なガラス材料の開発にも成功した。

②三次元加工システム技術

②-(1)三次元加工システム技術目標

[京大、NGF]

フェムト秒レーザーとガラスホログラムを用いた光学システムを構築して、三次元加工形状のメカニズムを解明した。加工形状はレーザーの位相や偏光だけでなく、強度、パルス幅、加工深さなど様々なパラメータに対し複雑に依存していることが判明した。

三次元ガラスホログラムを用いてフェムト秒レーザー照射により60 $\mu\text{m}$ 内に8層以上の異質相や $9 \pm 0.5\mu\text{m}$ 直線状異質相を世界で初めて一括形成することができた。

透明ガラスの内部形状を評価するためにZ軸分解能：1/100 $\mu\text{m}$ の非常に高い三次元測定器を用いて光路長の変化量から測定することが可能となった。

②-(2)波面制御三次元加工システム技術

[NGF]

高性能CPUを搭載した計算機による基盤シ

システムを構築し、ホログラムの設計シミュレーションの高速化を目標の3倍をはるかに超える従来比10倍以上で実現した。ホログラムの作製では、電子線描画時間を約1/3に短縮することができた。この技術は、②-(1)の三次元ホログラムの作成に貢献した。

②-(3)空間光変調器三次元加工システム技術  
[浜松ホトニクス]

位相変調型液晶空間光変調器(LCOS-SLM)については、薄膜技術を用いて入射光と反射光の位相をずらす位相シフト層をLCOS-SLM内部に導入し、フェムト秒レーザーの繰返し周波数：1kHz、パルス幅：100fsに対して30GW/cm<sup>2</sup>の耐光性を達成した。変調速度は30Hzで光位相変調度は $\pi$ ラジアンを得た。開発したLCOS-SLMを内蔵した光波面制御モジュール実験機を作成し、計算機合成ホログラム(CGH)を入力することで、三次元の光パターン生成を実現した。

③三次元加工システム応用デバイス技術

③-(1)三次元光学デバイス技術 [NGF]

計算機シミュレーションにより、格子構造の違いによる光量比の検証などを行ない、シミュレーションと平行して異質相形成に関する実験データの取得を行った。これにより、多点描画でガラスに光学ローパスフィルタを形成するための加工フェムト秒レーザーのパワーや加工ターゲットであるガラスの走査速度、更に回折格子構造の詳細を決定した。

プロジェクト全体にたいする評価結果

評価項目	平均値	素点 (注1)							
1. 事業の位置付け・必要性	2.7	A	B	B	A	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメント	2.1	B	B	C	B	B	A	A	A
3. 研究開発成果	2.6	A	A	B	B	B	A	A	A
4. 実用化・事業化の見通し	1.9	A	B	D	B	B	B	B	B

(注) A=3, B=2, C=1, D=0として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

1枚のガラス中に光学ローパスフィルタを多点描画にて作成し、市販のビデオカメラに取り付け、モアレの低減を目視にて確認した。

③-(2)三次元光回路導波路デバイス技術[京大、NGF]

逐次描画によるレーザー照射の条件を制御して、目標であるコア径：9 $\mu$ m、加工精度： $\pm$ 1 $\mu$ m、伝送損失：0.1dB/cmの直線導波路を描画することができた。また、逐次描画により直角光路変換光導波路を作製した。この導波路は250 $\mu$ m間隔で24本(3列 $\times$ 8本)の導波路が垂直及び水平方向に描画されており、45°反射面を設けることで複数の光路を低損失にて直角に変換することが可能である。さらに、光誘起屈折率変化を利用したガラス内部へのグレーティングやバイナリーレンズの描画も試みた。光学設計用シミュレーションソフトを利用し、空間光変調素子を中心とする波面制御光学系を構築した。

4. 評価結果

評価委員7名によるプロジェクトの評価結果は以下の通りで、判定は優であった。