平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

- 「レーザープロファイル整形用ホログラフィック光学素子量産用 ナノインプリント・モールドの開発」
  - 研究開発成果等報告書 平成22年 3月
  - 委託者 関東経済産業局

委託先 ナノクラフトテクノロジーズ株式会社

- 第1章 研究開発の概要
  - 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標
  - 1-2 研究体制
    - 1-2-1 研究組織(全体)
    - 1-2-2 管理体制
    - 1-2-3 管理員及び研究員
    - 1-2-4 協力者
  - 1-3 成果概要
  - 1-4 当該研究開発の連絡窓口
- 第2章 本論
  - 2-1 ナノインプリント・モールド(金型)開発
  - 2-1-1 要素技術開発
    - 2-1-1-1 高感度パターンニング技術開発
    - 2-1-1-2 マスク材料の選定
    - 2-1-1-3 エッチング条件最適化
    - 2-1-1-4 パターン重ね合わせ開発
  - 2-1-2 金型加工開発
    - 2-1-2-1 単層加工の開発
    - 2-1-2-2 2層加工の開発
    - 2-1-2-3 多段構造開発
  - 2-2 ナノインプリント加工開発
    - 2-2-1 樹脂材ナノインプリント加工開発
      - 2-2-1-1 樹脂材ナノインプリント加工条件最適化
      - 2-2-1-2 樹脂材ナノインプリント金型耐久性評価
    - 2-2-2 低融点ガラスナノインプリント加工開発
    - 2-2-2-1 低融点ガラスナノインプリント加工条件最適化 2-2-2-2 低融点ガラスナノインプリント金型耐久性評価
    - 2-2-3 石英ガラスナノインプリント加工開発

最終章 全体総括

# 第1章 研究開発の概要

# 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

 レーザープロファイル整形用ガラス光学素子(注1)をナノインプリント(注2)加 エにより作成するためのナノメートル精密制御の立体構造を持つナノインプリント用 金型(モールド)の開発

近年のレーザーシステムの発展には目覚し いものがあり(図1)、金属材料の切断、溶接 から、プリント基板の穴あけ、半導体、LED、 太陽電池製造工程のダイシング、液晶や半導 体デバイスのアニール、医療分野、精密測定 用など様々な産業で実用化が進められている。 これは、レーザーの性質や品質の飛躍的な向 上によるとことが大きい。

レーザーの断面強度分布は、ガウス分布(正 規分布)になっており、レーザー焦点でのレ ーザー強度は不均一になっている。一方、レ



ーザー加工用途の多様化に伴い、垂直な形状の穴あけ、太陽電池製造工程のレーザースクラ イビングなど、不均一なガウス分布ではなく、均一な強度分布に対するニーズが高まってき ている。

これを実現する方法として、ホログラフィック光学素子が用いられる。光の波長オーダーの微細なパターンと深さ方向への複雑な立体構造を有し、その作成には MEMS 技術(注3)を 使用し、多大の時間と費用を要しているため、導入に対し障壁になっているケースも多い。 また、現在の市場は、ほぼ外国企業製品に占められている。

そこで、簡便で省資源・省エネルギーな成形法が求められており、金型成形であるナノイ ンプリント加工はこれを解決するものとして期待されている。従来技術と金型ナノインプリ ント手法を使用しての相違点を図2に示す。図2のように、作成工程が大幅に減り、低コス ト、低環境負荷、短納期でホログラフィック光学素子が作成できるようになる。

また、図3に示すとおり、今回の開発した金型は、多段構造(8段)を有しており、しか も、平面方向はマイクロレベル(5µmオーダー)深さ方向ナノレベル(100nmオーダー)の 精密制御が必要であり、大変高度かつ高精度な金型作成技術となる。



図2 従来技術と金型インプリント加工 技術を用いての作成相違点と特徴



上述のような複雑構造を持つナノインプリント用金型(モールド)の作成技術は確立され ていない。本開発においては、この作成方法を確立することによりレーザープロファイル整 形用ホログラフィック光学素子量産用ナノインプリント・モールドの開発を行うとともに、 ナノインプリントによってホログラフィック光学素子を作成する。

### 研究開発目標

- ① 金型開発
- ①-1. 高感度パターンニング技術開発
   目標値:感度 50 µ C/cm<sup>2</sup>以上
   ①-2. マスク材料の選定
   目標値:基板との選択比(エッチレート比)10以上
   ①-3. エッチング条件最適化
- 目標値:表面粗さ悪化 10nm 以下
- ①-4. 単層加工の開発
   目標値:設計値からのずれ5%以内(水平、深さ方向)
- ①-5. パターン重ね合わせ開発
  - 目標値:重ね合わせずれ幅 100nm 以内
- ①-6.二層加工開発
   目標値:設計値からのずれ5%以内(水平、深さ方向)
   ①-7.多段構造開発
  - 目標値:設計値からのずれ5%以内(水平、深さ方向)
- ② ナノインプリント加工開発
- ②-1.加工条件最適化
  - 目標値:転写精度 5%以内(水平、深さ方向)
- ②-2. 金型耐久性評価目標値:10回転写後 転写精度5%以内(水平、深さ方向)

# 1-2 研究体制

(研究組織·管理体制、研究者氏名、協力者)

1-2-1 研究組織(全体)

 ナノクラフトテクノロジーズ株式会社

 統括研究代表者(PL)

 ナノクラフトテクノロジーズ

 株式会社

 研究開発部長 上野 昭久

- 1-2-2 管理体制
- ①事業管理者
- [ナノクラフトテクノロジーズ株式会社]



1-2-3 管理員及び研究員

【事業管理者】ナノクラフトテクノロジーズ株式会社

①管理員

氏名		所属・役職	実施内容(番号)
上野	昭久	研究開発部長	3

⑦ 研究員

氏名		所属・役職	実施内容(番号)	
上野	昭久(再)	研究開発部長	(1, 1, 2), $(2, 1, 2)$	
佐土	俊一	研究開発部・研究員	<b>(2)</b> (1, 2)	

③ 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

#### (事業管理者)

ナノクラフトテクノロジーズ株式会社

(経理担当者)	企画・営業統括部	経理課長	佐土	俊一
(業務管理者)	代表取締役社長		山田	昌宏
	研究開発部長		上野	昭久

1-2-4 協力者

	氏名	所属・役職	備考
高木	秀樹	独立行政法人産業技術総合研究所 先進製造プロセス技術研究部門 インプリント製造技術研究グループ・主任研究員	アドバイザー
菅沼	孝吉	株式会社エンプラス開発本部開発部・課長	アドバイザー

# 1-3 成果概要

本事業における多段金型の開発、及び、ナノインプリント加工開発により、低コストでホロ グラフィック光学素子を作成するチャレンジは、8段構造の正確な金型作成、及び、この8段 構造の金型を使用してのナノインプリント技術により多段構造光学素子作成するにいたった。 光学樹脂材、低融点光学ガラス材、石英ガラス材、すべての光学素子材おいて、寸法精度は 目標精度に対し十分な精度であった。

多段金型の開発においては、最初に多段モールド作成のための要素技術開発を行った。その要 素技術を用いて単層構造作成技術を開発し、それと並行してパターン重ね合わせ技術開発を行 った。その後、単層構造作成技術とパターン重ね合わせ技術を組み合わせて、2 層構造を作成 しさらに、2 層加工を発展させ、多段構造加工技術の開発を行い8 段構造の金型を作成した。 その結果、目標精度を十分に達成できる金型作成技術を開発した。

開発した多段金型を使用して、樹脂、及び、低融点ガラス、石英ガラスを成形材料として最適イ ンプリント条件(温度、圧力、時間)を求めた。

その後、最適インプリント条件にて繰り返し転写試験を行い、モールドの耐久性を評価した。 精度、耐久性とも目標精度を十分に達成できた。

1-4 当該研究開発の連絡窓口
 ナノクラフトテクノロジーズ株式会社
 研究開発部研究開発部長
 上野 昭久
 Tel/Fax: 029-858-5470
 E-mail: ueno@nact.biz

2-1 ナノインプリント・モールド(金型)開発

開発にあたり、最初に多段モールド作成のための要素技術開発を行い、その要素技術を用 いて単層構造作成技術を開発する。それと並行してパターン重ね合わせ技術開発を行う。そ の後、単層構造作成技術とパターン重ね合わせ技術を組み合わせて、まずは2層構造を作成 する。さらに、2層加工を発展させ、多段構造加工技術の開発を行い8段以上の構造を目指 す。目標値:設計値からのずれ5%以内(水平、深さ方向)

金型の作成方法を図4に示す。最初に精密に表面研磨した金型基板(東海カーボン社製グ ラッシカーボン 以下 GC と呼ぶ。)にマスク材料をスパッタにて成膜する。その後レジスト を塗布し、電子線描画にてパターンニングを行い、マスク材料をドライエッチングし、基板 をドライエッチングする。その後、レジスト、マスク材料を除去する。この工程を3回繰り 返し、多段モールド(段差8段)を作成する。



3回のエッチング繰り返しで8段の段差を作成する方法を図5に示す。

図4 金型作成方法



2層目

エッチング

3層目 エッチング 0

6

2-1-1 要素技術開発(開発項目 ①-1、2,3,5)

2-1-1-1 高感度パターンニング技術開発(開発項目 ①-1)

電子線描画は、一般的に他の工程に比べ、極めて時間がかかる工程であり、高感度にパタ ーンニングする技術を開発し比較的短時間で工程を終了することは低コスト化に大きな影 響をあたえる。特に多段モールドを作成するには、電子線描画を繰り返し行わなくてはなら ないため大変重要な技術開発といえる。

そこで電子線描画用高感度レジストを用いて条件だしを行った。

電子線描画用高感度レジストをシリコン基板上にスピンコートし、その後、ホットプレー トにてベークした。

その後、電子線描画装置を用いて、電子線のドーズ量を6~139 µ C/cm<sup>2</sup>の間で変化させ描 画を行った。

描画の後、現像液を用いて室温で現像し、リンス液にて室温リンスを行った。その後、純 水にて洗浄し、スピン乾燥した。

パターンの出来具合を光学顕微鏡にて観察した。画像1に示す。

電子線ドーズ量が 33 μ C/cm<sup>2</sup> 以上でパターンニングできているように見える。

念のため、このサンプルをシリコンドライエッチング、レジスト除去を行い、再度光学顕 微鏡にて観察した。画像2に示す。電子線ドーズ量が 39 µ C/cm<sup>2</sup> 以上でパターンニングでき ている。この結果は、目標値である感度 50 µ C/cm<sup>2</sup> 以上を達成している。



2-1-1-2 マスク材料の選定(開発項目 ①-2)

GC 基板をエッチングする際、マスクとのエッチングレート選択比(マスク選択比=GC エッチングレート/マスクエッチングレート)は、加工精度、コスト両面から重要である。 マスクとの選択比が高ければ、成膜するマスク膜厚を薄くでき、また、マスクエッチング 量も少なくでき低コストにできる。

まず、シリコン基板上に各種マスク材を、スパッタ装置を使用して 300nm 程度成膜した。 比較となるグラッシカーボン(以下 GC)データは、GC 基板を用いた。

続いて、GCエッチング装置を使用して各種マスク材とGCをエッチングし、エッチングレートの比較を行った。

エッチングレート結果を表1に示す。選択比(GC レート/マスク材レート)に換算した ものを表2に示す。

結果、マスク材として、Au(金)の選択比が 22.8 で、目標の選択比 10 以上が達成されていることがわかった。

Ti W Mo Au GC	エッチングレート (nm/min)				
	Ti	W	Mo	Au	GC
	73	66	81	5	114

表1 エッチングレート結果

選択比	上 (GC)	レート/マ	スク材レ	<b>-</b> ト)
Тi	W	Mo	Au	GC
1.6	1.7	1.4	22. 8	1.0

表2 選択比結果

2-1-1-3 エッチング条件最適化(開発項目 ①-3)

GC のエッチング工程において、エッチング後のGC 表面の粗さは、光学素子を作成する 上で非常に重要である。加工表面が荒れていると、作成する光学素子に入射されたレーザ ーが散乱し、設計どおりの特性が得られず問題となる可能性がある。 GCのエッチングは通常ドライエッチング装置にて、酸素ベースのプラズマによりエッチングされるが、酸素のみで行うとエッチングされた加工物の表面が荒れてしまう。そこで、酸素に SF。(六フッ化硫黄)ガスを少量添加し最適化した。

GC 基板を、GC エッチング装置を使用し て 1.2 μm エッチングし、エッチング前後 表面粗さを SII ナノテクノロジ社製 L-tra ce AFM にて測定した。

画像3でわかるように、エッチング前の 表面粗さ値は、Ra が 4.5nm、RMS が 5.7nm、 エッチング後の Ra が 2.6nm、RMS が 3.3nm でありエッチングによる表面粗さ悪化は 見られず、目標値の表面粗さ悪化 10nm 以 下を達成できている。



画像3 GC エッチング前後の GC 表面粗さ

2-1-1-4 パターン重ね合わせ開発(開発項目 ①-5)

電子線描画において、パターンニングされた基板とのパターンの重ね合わせ精度は、レ ーザープロファイルの設計値とのずれに直接関係する重要な項目である。

そこで、パターンの重ね合わせ精度の最適化を行った。

最初に、パターン重ね合わせ用基板を作成した。基盤はシリコンを用い、パターン深さは 500nm にした。

作成した基板を用いて重ね合わせ実験を行った。

測定は精度測定の一般的な方法であるバーニア法(注4)を用いて行った。

重ね合わせ精度測定結果を画像4に示す。重ね合わせずれ値はX方向200nm、Y方向20 0nmであった。目標値のずれ量100nm以下には収まっていない。

そこで、X方向、Y方向、 $\theta$ (回転)方向の補正、実験、測定を繰り返し行い、重ね合わせ精度の追い込みを行った。

追い込み後の重ね合わせ精度測定結果を画像5に示す。重ね合わせずれ値はX方向50n m、Y方向ほぼ0nmであり、目標値のずれ量100nm以下になり目標を達成した。



画像4 重ね合わせ精度測定結果



画像5 補正後の重ね合わせ精度測定結果

2-1-2 金型加工開発(開発項目 ①-4、6、7)

2-1-2-1 単層加工の開発(開発項目 ①-4)

上記要素技術開発をもとに、まずは、単層金型の作成を試みた。

基板は4インチ2mm厚のGC基板を用いて、ハードマスクをスパッタにて成膜する。その後、電子線描画工程を行う。最初に電子線描画レジストをスピンコーターにて基板に塗布し、ホットプレートにてベークする。その後、電子線描画装置にて描画を行い、現像しパターンを形成する。

そのパターンをマスクとして、ハードマスクをエッチングする。

その後、GC 基板のエッチングを行い、深さ 500nm の加工を行う。

最後にハードマスク材である Au を Au エッチング液を用いて除去し、Ti を除去する。 加工形状を Zygo 社製レーザー測定装置 NewView 5000、及び、日立ハイテクノロジーズ 社製 FE-SEM S-4800 を使用して観察、測定を行った。垂直方向測定にはレーザー測定を水 平方向に関しては、FE-SEM で行った。(画像6、7)

深さ方向は、目標値 500nm に対し、実測値は約 600nm で 10%のずれであり、目標の 5% 以内を満たしていないが、この結果を2層金型開発にフィードバックする。具体的には、 GC エッチング時間を短縮する。

平方向に関しては、目標値が 5 μm に対し、実測値は 5.05~5.07 μm で 0.8~1.4%のず れで、目標値である、水平方向ずれ 5%以内を達成した。



画像6 単層金型のレーザー測定機画像及び測定データ



画像7 単層金型の FE-SEM 画像及び測定データ

2-1-2-2 2層加工の開発(開発項目 ①-6)

上記単層加工開発結果をもとに、2層加工金型の作成を試みた。

1 層目は、単層金型作成とほぼ同様の工程にて製作した。単層金型作成では深さ方向ず れが大きかったため、GC エッチング時間を短縮した。

2 層目は、基本的に1層目と同様な工程にて作成を行うが、2 層目のGC エッチング目標 は1層目の半分であるため、ハードマスクのAuの膜厚は1層目の3分の2の成膜を行い、 それに伴って、ハードマスクエッチング工程のエッチング時間を短縮した。また、GC エ ッチングは目標加工量 500nm に対して、2 層目は目標加工量 250nm とした。

電子線描画は開発した重ね合わせ技術を使用した。

2層加工した形状を画像8、9に示す。

深さ方向は、目標値 750nm(1 層目 500nm+2 層目 250nm)に対し、実測値は約 780nm で 4%のずれだった。水平方向に関しては、目標値が 5 µm に対し、実測値は 5.00~5.04 µm で 0.0~0.8%のずれで、目標値である、深さ方向、水平方向ずれ 5%以内を達成した。



画像8 2層金型のレーザー測定機画像及び測定データ



画像9 2 層金型の FE-SEM 画像及び測定データ

2-1-2-3 多段構造開発(開発項目 ①-7)

上記2層加工開発結果をもとに、多段構造金型の作成を試みた。

1、2層目は、2層金型作成と同様の工程にて製作した。

3 層目は、基本的に1、2 層目と同様な工程にて作成を行うが、3 層目の GC エッチング 目標は2 層目の半分であるため、ハードマスクの Au の膜厚は2 層目の4 分の3 の成膜を 行い、それに伴って、ハードマスクエッチング工程のエッチング時間を短縮した。また、 GC エッチングは目標加工量 250nm に対して、3 層目は目標加工量 125nm とした。

電子線描画は開発した重ね合わせ技術を使用した。

多段加工した形状を画像10、11に示す。

画像のように、目標である8段構造が作成できた。

測定値としては、深さ方向は、目標値 875nm(1 層目 500nm+2 層目 250nm+3 層目 125nm)に対し、実測値は約 900nm で 2.8%のずれだった。水平方向に関しては、目標値が 5 μmに対し、実測値は 5.04 μm で 0.8%のずれで、目標値である、深さ方向、水平方向ずれ 5%以内を達成した。



画像10 多段金型のレーザー測定機画像及び測定データ



画像11 多段金型の FE-SEM 画像及び測定データ

- a) 多段段差確認用パターン
- b) c) ホログラフィック素子部
- d) 側長用パターン部

### 2-2 ナノインプリント加工開発

上記において開発した多段金型を使用して、樹脂、及び、低融点ガラス、石英ガラスを成形材 料として最適インプリント条件を求める。目標値:転写精度 5%以内(水平、深さ方向) その後、最適インプリント条件にて繰り返し転写試験を行い、モールドの耐久性を評価する。 目標値:10回 転写後 転写精度 5%以内(水平、深さ方向)

今回の開発には、ナノクラフトテクノロジーズ社製小型ナノインプリント装置 NI-273 を 使用した。(写真1)

このナノインプリント装置は、研究開発用小型熱式ナノインプリントプロセス装置で、ナ

ノインプリントプロセスパラメータである金型および基板の温度、金型押し込み荷重、金型 押し込み変位の各制御が高精度にでき、成形部を真空チャンバで密閉して真空環境でのナノ インプリントプロセスにも対応可能なものである。金型および基板を最高 650℃まで加熱で きるので、樹脂材料だけでなくガラス材料へのナノインプリントプロセス実験にも応用可能 である。

ナノインプリントの基本プロセスを図6に示す。

まず、図6中のaのように金型と成形基板をセットする。 そして、ガラス基板の場合は、真空(10Pa程度)状態にする。 その後、図6中のbのように、金型側、成形基板側を加熱し、 所定の温度に到達したら、押し付け(加圧)し、一定時間保 持する。その後、図6中のcのように、所定の温度になるま で冷却し、剥離(離型)処理を行う。



図6 ナノインプリント基本プロセス



写真 1 ナノクラフトテクノロジーズ社製 小型ナノインプリント装置 NI-273

# 2-2-1 樹脂材ナノインプリント加工開発

2-2-1-1 樹脂材ナノインプリント加工条件最適化(開発項目 ②-1)

今回の樹脂材ナノインプリント加工開発には、日本ゼオン社製光学樹脂材のZEONEX 35 OR を用いた。

はじめに、単層金型を用いて、ナノインプリントの条件だしを行った。

成形温度を 120℃、130℃、140℃にて、ナノインプリント成形を行った。成形樹脂基板 のレーザー測定装置での測定結果を画像 1 2 に示す。130℃以上で成形ができていること がわかる。

単層金型を用いてのナノインプリント加工条件だしの結果をふまえて、多段 Test 金型 を用いてナノインプリントの条件だしを行った。成形温度を 130℃、135℃、140℃にて、 ナノインプリント成形を行った。レーザー測定装置での測定結果を画像13に示す。単層 金型では 130℃にて成形できたが、多段金型では、130℃ではダレが見られ(画像14)、 135℃以上でダレは無く(画像15)、成形できていることがわかる。

最適化された条件を使用して、画像10,11の多段金型を用いて、ナノインプリント 加工した。ナノインプリント加工した結果を画像16、17に示す。

加工形状は Zygo 社製レーザー測定装置 NewView 5000、及び、日立ハイテクノロジーズ 社製 FE-SEM S-4800 を使用して観察、測定を行った。垂直方向測定にはレーザー測定を水 平方向測定に関しては、FE-SEM で行った。

測定値としては、深さ方向は、目標値 875nm(1 層目 500nm+2 層目 250nm+3 層目 125nm)に対し、実測値は約 886nm で 1.3%のずれだった。水平方向に関しては、目標値が 5 μmに対し、実測値は 4.96~5.08 μm で-0.8~1.6%のずれで、目標値である、深さ方向、水平方向ずれ 5%以内を達成した。

2-2-1-2 樹脂材ナノインプリント金型耐久性評価(開発項目 ②-2)

最適化された条件を使用して、10回インプリント転写を行った。10回転写後の結果 を画像18,19に示す。

測定値としては、深さ方向は、目標値 875nm(1 層目 500nm+2 層目 250nm+3 層目 125n

m)に対し、実測値は約891nmで1.8%のずれだった。水平方向に関しては、目標値が5 μmに対し、実測値は4.96~5.04μmで-0.8~0.8%のずれで、目標値である、深さ方向、 水平方向ずれ5%以内を達成した。



画像12 単層金型を用いて樹脂のナノインプリント成形を行った 基板のレーザー測定機画像及び測定データ



画像13 多段 Test 金型を用いて樹脂のナノインプリント成形を行った 基板のレーザー測定機画像及び測定データ



画像14 多段 Test 金型を用いて <u>130℃</u> にて樹脂のナノインプリント 成形を行った基板のレーザー 測定機画像



画像15 多段 Test 金型を用いて <u>135℃</u> にて樹脂のナノインプリント 成形を行った基板のレーザー 測定機画像



画像16 最適化された条件でナノインプリント加工した樹脂基板の レーザー測定機画像及び測定データ



画像17 最適化された条件でナノインプリント加工した樹脂基板のFE-SEM画像及び測定データ
 a) 多段段差確認用パターン
 b)、c) ホログラフィック素子部



画像18 10回ナノインプリント加工した後の樹脂基板の レーザー測定機画像及び測定データ



 画像19 10回ナノインプリント加工した後の 樹脂基板のFE-SEM 画像及び測定データ
 b) 多段段差確認用パターン
 b)、c) ホログラフィック素子部

#### 2-2-2 低融点ガラスナノインプリント加工開発

2-2-2-1 低融点ガラスナノインプリント加工条件最適化(開発項目 ②-1)

今回の低融点ガラスナノインプリント加工開発には、住田光学社製光学ガラス材の K-P SK11 を用いた。

はじめに、単層金型を用いて、ナノインプリントの条件だしを行った。

成形温度を 330℃、335℃、340℃にて、ナノインプリント成形を行った。成形基板のレ ーザー測定装置での測定結果を画像 20に示す。340℃で成形ができていることがわかる。 単層金型を用いてのナノインプリント加工条件だしの結果をふまえて、多段 Test 金型 を用いてナノインプリントの条件だしを行った。

成形温度を340℃、345℃、350℃にて、ナノインプリント成形を行った。レーザー測定 装置での測定結果を画像21に示す。単層金型では340℃にて成形できたが、多段金型で は、340℃では最上段の段差部の成形が不十分(画像22)であり、345℃で最上段の段差 部の成形が十分(画像23)できていることがわかる。

最適化された条件を使用して、多段金型を用いて、ナノインプリント加工した結果を画像24、25に示す。

加工形状は Zygo 社製レーザー測定装置 NewView 5000、及び、日立ハイテクノロジーズ 社製 FE-SEM S-4800 を使用して観察、測定を行った。垂直方向測定にはレーザー測定を水 平方向測定に関しては、FE-SEM で行った。

測定値としては、深さ方向は、目標値 875nm(1 層目 500nm+2 層目 250nm+3 層目 125nm)に対し、実測値は約 883nm で 0.9%のずれだった。水平方向に関しては、目標値が 5 μmに対し、実測値は 4.96~5.04μm で-0.8~0.8%のずれで、目標値である、深さ方向、水平方向ずれ 5%以内を達成した。

2-2-2-2 低融点ガラスナノインプリント金型耐久性評価(開発項目 ②-2)

最適化された条件を使用して、10回インプリント転写を行った。10回転写後の結果 を画像26,27に示す。

測定値としては、深さ方向は、目標値 875nm(1 層目 500nm+2 層目 250nm+3 層目 125nm)に対し、実測値は約 892nm で 1.9%のずれだった。水平方向に関しては、目標値が 5 μmに対し、実測値は 4.92~5.08μm で-1.6~1.6%のずれで、目標値である、深さ方向、水平方向ずれ 5%以内を達成した。



画像20 単層金型を用いて低融点ガラスのナノインプリント成形 を行った基板のレーザー測定機画像及び測定データ



画像21 多段 Test 金型を用いて低融点ガラスのナノインプリント成形 を行った基板のレーザー測定機画像及び測定データ



画像22 多段 Test 金型を用いて <u>340℃</u> にて低融点ガラスのナノイン プリント成形を行った基板の レーザー測定機データ



画像23 多段 Test 金型を用いて <u>345℃</u> にて低融点ガラスのナノイン プリント成形を行った基板の レーザー測定機データ



画像24 最適化された条件でナノインプリント加工した低融点ガラス 基板のレーザー測定機画像及び測定データ



画像25 最適化された条件でナノインプリント加工した 低融点ガラス基板のFE-SEM 画像及び測定データ a) 多段段差確認用パターン b)、c) ホログラフィック素子部



画像26 10回ナノインプリント加工した後の低融点ガラス基板の レーザー測定機画像及び測定データ



画像27 10回ナノインプリント加工した後の
 低融点ガラス基板のFE-SEM 画像及び測定データ
 a) 多段段差確認用パターン
 b)、c) ホログラフィック素子部

2-2-3 石英ガラスナノインプリント加工開発

今回の石英ガラスナノインプリント加工開発には、合成石英ガラスを用いた。

ナノインプリント装置は、エンジニアリングシステム社製モデル ASHE0201(写真2)を 用いた。最高加熱温度は 1400℃であり、石英ガラスのナノインプリントにも対応できる 仕様となっている。

はじめに、金型(画像10, 11)を用いて、ナノインプリントの条件だしを行った。 成形温度を1300℃、1310℃、1320℃にて、ナノインプリント成形を行った。成形基板の レーザー測定装置での測定結果を画像28に示す。1320℃で成形ができていることがわか る。

最適化された条件を使用して、ナノインプリント加工した結果を画像29、30に示す。

加工形状は Zygo 社製レーザー測定装置 NewView 5000、 及び、日立ハイテクノロジーズ社製 FE-SEM S-4800 を使用 して観察、測定を行った。垂直方向測定にはレーザー測定 を水平方向測定に関しては、FE-SEM で行った。

測定値としては、深さ方向は、目標値 875nm(1 層目 500 nm+2 層目 250nm+3 層目 125nm)に対し、実測値は約 908 nm で 3.8%のずれだった。水平方向に関しては、目標値が 5 µm に対し、実測値は 5.00~5.04 µm で 0.0~0.8%のず れで、目標値である、深さ方向、水平方向ずれ 5%以内を 達成した。



写真 2 エンジニアリングシステムズ社製 ガラス用ナノインプリント装置モ デル ASHE0201



画像28 多段金型を用いて石英ガラスのナノインプリント成形を行った基板のレーザー測定機画像及び測定データ



画像29 最適化された条件でナノインプリント加工した石英ガラス 基板のレーザー測定機画像及び測定データ



画像30 最適化された条件でナノインプリント加工した
 石英ガラス基板のFE-SEM 画像及び測定データ
 a) 多段段差確認用パターン
 b)、c) ホログラフィック素子部

### 最終章 全体総括

本事業における多段金型の開発、及び、ナノインプリント加工開発により、低コストでホロ グラフィック光学素子を作成するチャレンジは、8段構造の正確な金型作成、及び、この8段 構造の金型を使用してのナノインプリント技術により多段構造光学素子作成するにいたった。 光学樹脂材、低融点光学ガラス材、石英ガラス材、すべての光学素子材おいて、寸法精度は 目標精度に対し十分な精度であった。

多段金型の開発においては、最初に多段モールド作成のための要素技術開発を行った。その 要素技術を用いて単層構造作成技術を開発し、それと並行してパターン重ね合わせ技術開発を 行った。その後、単層構造作成技術とパターン重ね合わせ技術を組み合わせて、2 層構造を作 成しさらに、2 層加工を発展させ、多段構造加工技術の開発を行い 8 段以構造の金型を作成し た。

その結果、目標精度を十分に達成できる金型作成技術を開発した。

開発した多段金型を使用して、樹脂、及び、低融点ガラス、石英ガラスを成形材料として最 適インプリント条件(温度、圧力、時間)を求めた。

その後、最適インプリント条件にて繰り返し転写試験を行い、モールドの耐久性を評価した。 精度、耐久性とも目標精度を十分に達成できた。

金型製作技術は、日本においては得意とされる分野であり、また、ナノインプリント加工技術も比較的安価な投資で参入することができるので、中小企業各社に微細加工業界への道が開けると期待される。

低コストにホログラフィック光学素子が装着できるため、レーザー装置の低コスト化が 進み、外国レーザー装置に対して、日本製レーザー装置の競争力が大きくなり、技術の 優位性が生み出されると思われる。

現在、高価だからゆえに、レーザープロファイル整形用ホログラフィック光学素子を使用 していない価格帯のレーザー装置も本素子が搭載され、比較的安価に、形状の整ったレーザー 加工ができるようになる。

さらに、ホログラフィック光学素子は、レーザー光整形の他にも、レーザー光の多重結像化、 セキュリティー認証用の精密ホログラフィック光学素子、精密3次元ホログラフィック光学素 子などの用途があり、本開発のホログラフィック光学素子作成法によりこれらの応用において も低価格化、量産化が促進されると期待される。

また、本開発において開発される複雑な構造を持つナノインプリント用金型作成技術並びに ナノインプリント加工技術は、レーザー以外にも精密多段配線、反射防止膜、バイオ精密流路 などの用途においても適用可能なものであり、これら分野においても大きな経済効果が期待さ れる。 注1: レーザープロファイル整形用ホログラフィック光学素子 レーザー光の強度プロファイルを均一化するための光学素子のこと。



注2:ナノインプリント

金型に刻み込んだ寸法が数十 nm ~ 数百 nm の凹凸を, 基板材料に押し付けて形状を転写する 技術。転写の工程は数分で終了し, 同じ形状の部品を短時間で大量に作り出せる。



注3: MEMS 技術

MEMSとは、Micro Electro Mechanical System (微小電子機械システム)の略で、製造する際に用いられる半導体製造技術、電気的回路技術、機械加工技術など一連の技術をシステム的に融合した技術。

「MEMS 技術」は「マイクロマシン技術」とほぼ同義で区別なく使われていることも多い。

# 注4) バーニア法

バーニア法とは、主尺 (メインスケール)の 9/10 あるいは 19/20 の間隔で目盛が振られており、測定点にバーニヤの 0 点を合せて主尺の目盛とバーニヤの目盛が一致した場所を読取ること によって 1/10 あるいは 1/20 の単位を測定するものである。