

ナノインプリント技術を利用したサブ波長構造広帯域波長板の製作

Polymeric Wide-band Wave Plate Produced via Nanoimprint Subwavelength Grating

宮越 博史*

Miyakoshi, Hiroshi

森川 雅弘*

Morikawa, Masahiro

増田 修*

Masuda, Osamu

古田 和三*

Furuta, Kazumi

要旨

CD、DVD、次世代光ディスクの3波長に対応可能な1/4波長板を廉価に供給する技術が求められている。本研究では、サブ波長構造を利用した広帯域1/4波長板を実現するために、超微細構造の型転写技術として高い生産性が期待できるナノインプリント技術を採用し、光学素子として利用可能な樹脂バルク上への転写技術を独自開発した¹⁾。それにより、ピッチ400nm、高さ1200nmのサブ波長バイナリ構造の転写が可能になり、広帯域1/4波長板を得た。

Abstract

We have developed a nanoimprint process on a bulk surface for the production of low-cost quarter wave plates (QWPs) for use with CDs, DVDs, and next-generation optical discs. This nanoimprint process achieves high-efficiency mold shape transfer on a subwavelength scale (SWS). We obtained wide-band QWPs with a pitch of 400nm and a 1200nm-high binary structure.

1 はじめに

ナノインプリント技術は、主に半導体製造プロセスにおいて開発が進められてきた型転写技術である²⁾。したがって、転写形状としては微細かつ平面的であり、被加工材としてはSi基板にレジスト膜を塗布したものが多い。

転写方式は、熱可塑性材料に熱変形を利用して転写する「熱式インプリント」と、光硬化材料を型に充填したのち硬化させる「光硬化式インプリント」に大別される。

熱式の特徴は、被加工材樹脂の選択肢が多いということと、加熱・冷却による体積変化で微細パターンへの影響があるということである。一方、光硬化式は、加熱・冷却などの熱プロセスはないが、光硬化型樹脂に限定される。

装置は、型の加熱機構とプレス機構、型と被加工材のチャックとアライメント調整機構を備えたものが多い。インプリントの典型的なプロセスをFig. 1に示す。

*コニカミノルタテクノロジーセンター(株) デバイス技術研究所 ナノ加工開発室

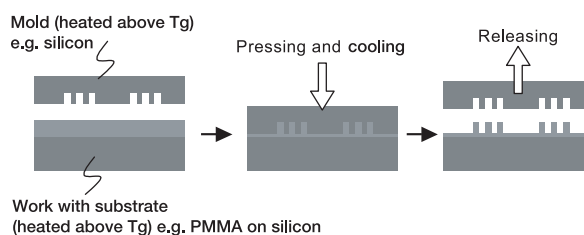


Fig.1 Conventional nanoimprint process

2 ナノインプリント技術

2.1 方式選択

成形品が光学素子として利用されるため、屈折率、透過率、耐環境性などの特性から樹脂が決定される。したがって樹脂限定が少ない熱式インプリントを採用した。開発したプロセスはFig. 1に示すものと同じだが、被加工材は基板レス樹脂バルク材を使用している。そのため被成形材は、原形を維持するために加熱せず、型のみを加熱する方式とした (Fig. 2)。

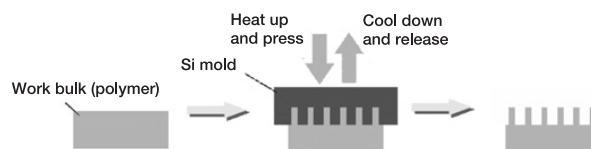


Fig.2 Nanoimprint process with bulk polymer

2.2 構成要素

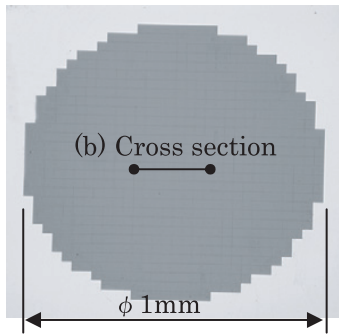
光学素子のナノインプリントを実現するための構成要素について以下に説明する。

(1) 型

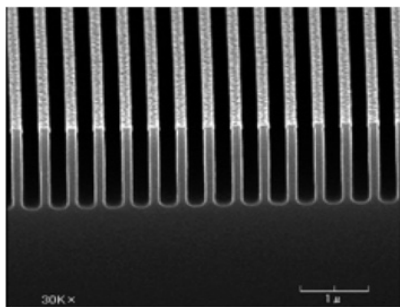
型の要件は、寸法精度と被成形材との離型性である。

本研究では所望の形状が櫛歯断面形状の2次元パターンであり、その寸法が100nmオーダーであることから、微細加工性にすぐれるSiを材料として、電子線直描画とドライエッチング加工により高精度を達成し、かつ加工粗さを低減した。加工した型の一例をFig. 3に示す。

型表面は疎水コーティング処理により離型性を確保している。コーティング処理品、未処理品について樹脂滴下による接触角評価をFig. 4に示す (型および樹脂は140℃ \geq T_gに加熱)。



(a) Whole of pattern on Si mold



(b) SEM image of cross section of SWS(resist mask remains)

Fig.3 Si mold and SWS pattern
(pitch, 400nm; space, 275nm; depth, 1200nm)

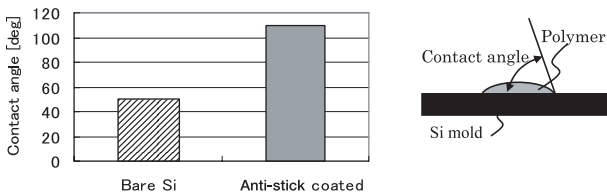


Fig.4 Effect of anti-stick coating

(2) 被加工材

被加工材は、半導体製造におけるナノインプリントと大きく異なる。前述のとおり製品に組込む素子であることや、生産性、製品コストを考慮して、Fig. 5に示すような光学的に透明な樹脂バルク材を被加工材として用いた。たとえば、ガラス基板に樹脂膜を塗布したものに比べて生産工程数、部材コストの面で有利であると考えられる。

また樹脂種を選択において、樹脂を熱変形させるという加工原理から、粘弾性特性が微細成形性の重要な因子となる。



Fig.5 Example of work (polymer, φ 11 mm× t2mm)

(3) ナノインプリント装置

試作したナノインプリント装置の外観写真をFig. 6に示す。装置の設計要点は、プレス点でモーメント力や誤差運動を発生させないことであり、その要求精度は100nm以下となる。

まずフレームについては、1,000N級のプレス力がかかるため、ナノメートルオーダーでの高剛性化を追求する設計とはせず、ある程度の剛性をもたせた上で変形がプレス軸上に沿って発生するように4箇所等配置にした。

プレス駆動は、大荷重を出力するために一般的には油圧式が採用されることが多いが、プレス制御の柔軟性を持たせるためにACサーボモータとボールねじの組合せで構成し、位置もしくは力のフィードバック制御が可能となっている。プレス仕様は、最大出力荷重10,000N（ロードセル分解能10N）、有効ストローク100mmとした。

可動プレートの運動基準は、等配置した4本の転がり軸受である。転動体は線接触で高剛性なニードルタイプを用いている。その結果、可動プレートの走り真直度（プレス軸に直角方向の誤差運動）は、0.15μm/10mmストロークを達成した。また、昇降繰返し時のZ方向位置決め精度は、±2σ=±1.8μm（上プレート700N吊下げ、移動速度10mm/s時）である。

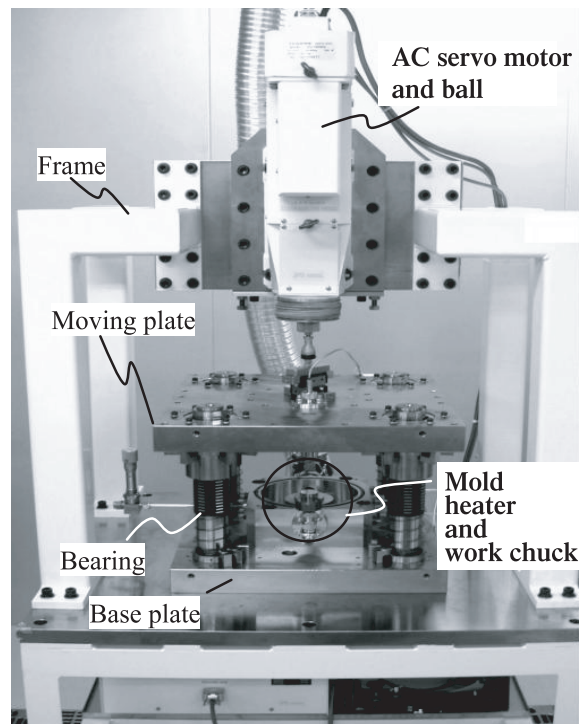


Fig.6 Nanoimprint processing apparatus

3 広帯域 1/4 波長板の設計

設計では①広帯域性および②生産性を考慮した。

広帯域性に関しては、波長405nm～780nmにおける位相差が $90^\circ \pm 10^\circ$ 以内になるようにサブ波長構造の設計を行った。設計計算にはEMT (Effective Medium Theory) で2次の項までを利用した。

ここで設計解はいくつか存在するが、ナノインプリント成形の難度と生産性を考慮して、Fig. 7に示すピッチ400nm、ライン幅275nm、高さ2400nmという寸法を選択した。さらに今回はFig. 8のような2枚貼合せ構成で1/4波長板を仕上げた。この構成は、1枚あたりのSWS高さを設計高さの1/2にできるため生産性向上の効果がある。耐環境性の点でも、SWSを内側密閉構造にできるため防汚効果が期待できる。

4 ナノインプリント結果

インプリント品の評価は、光学顕微鏡によるパターン俯瞰観察、SEMによる構造観察および寸法測定を行った。検討初期にはFig. 9に示すような構造欠陥、(a)抜け、(b)倒れ、(c)伸び (20%) が見られたが、プロセスの改良により、Fig.10に示すように、縦方向への伸びが5%認められるものの、 $\phi 1\text{mm}$ パターンにおいて抜けのない転写結果を得た。

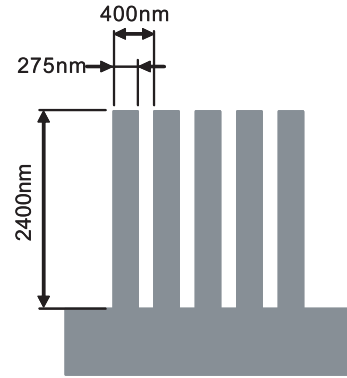


Fig.7 SWS for QWP (λ 405nm ~ 780nm)

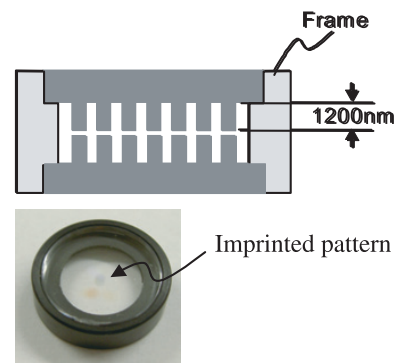


Fig. 8 SWS sealed structure

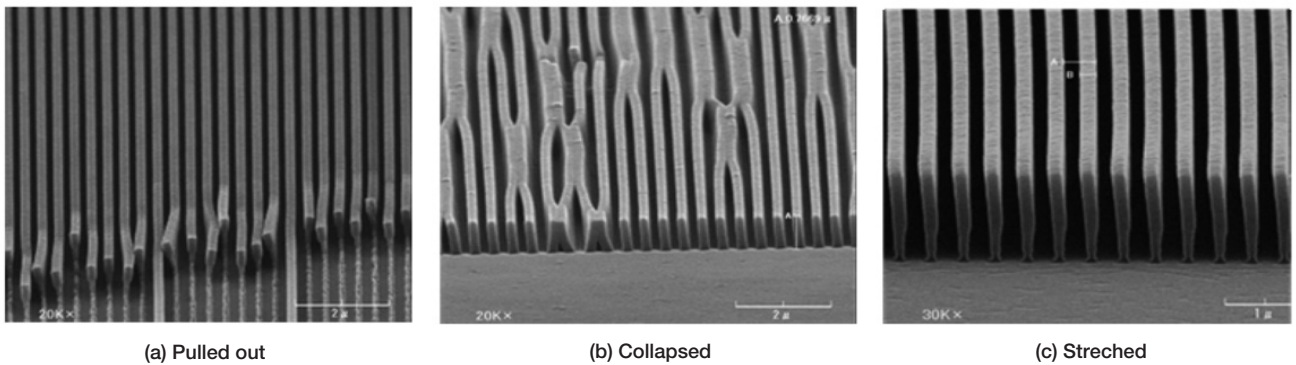


Fig.9 SEM images of SWS defects on polymer after imprint process

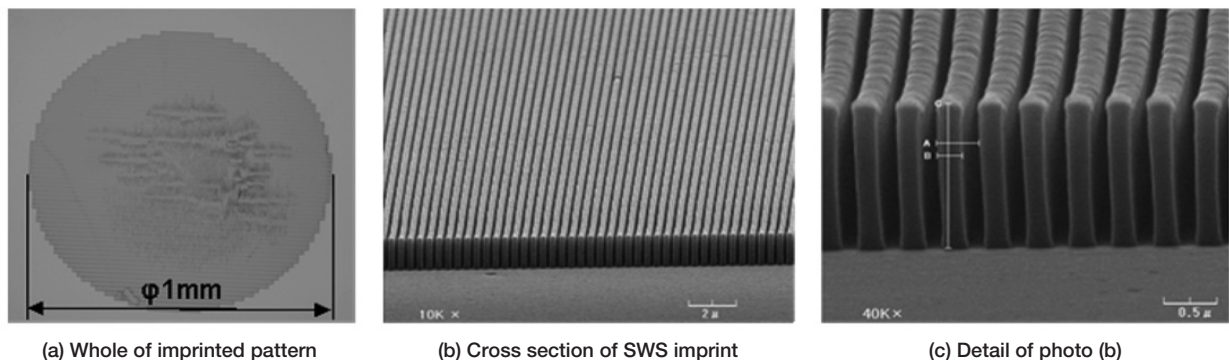


Fig.10 SEM images of minimal SWS defects

5 光学評価

Fig.10の素子について光学評価した結果をFig.11に示す。図中実線は設計値、黒丸はFig. 8に示す2枚構成品、白丸は1枚品の測定結果である³⁾。

1/4波長板としての性能は、目標位相差 $90^\circ \pm 10^\circ$ 以内 ($0.25\lambda \pm 0.03\lambda$) に対して、波長405nmで96°、680nmで86°、780nmで99°という仕上がりで目標を満足できた。製作誤差の原因は、ナノインプリントにおける高さ方向への伸びと、ピッチ方向への倒れがあるためと考えられる。

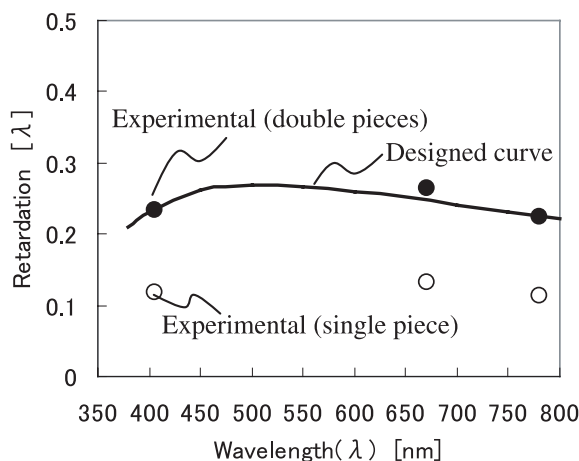


Fig. 11 Performance results

6 おわりに

樹脂バルク上へのナノインプリント技術を開発することにより、素子の試作および光学評価ができた。今後は、製品搭載を目標にしたパターンの大面積化、Siモールドの耐久性向上などを検討していく。

7 謝辞

本研究の疎水コーティング処理に関しては大阪府立大学大学院 平井教授にご指導いただきました。

●参考文献

- 1) 森川、宮越、古田：第64回応用物理学学会学術講演会講演予稿集、30p-F-16 (2004) p.1080
- 2) Chou, US Pat 5,772,905, 6,309,580/APL, Vol. 67, 3114 (1995) / Science, Vol. 272, 85 (1996)
- 3) インターオプト2004 (幕張メッセ、2004年7月13日～15日) においてコニカミノルタ テクノロジーセンター株式会社から出展、配布資料。