

# ナノインプリント法によるガラス材料のナノ成型

大阪府立大学 大学院工学研究科

平井 義彦

## Nano fabrication for Glass material by Nanoimprint

Yoshihiko Hirai

Osaka Prefecture University

### 1. はじめに

ナノインプリント法<sup>1)</sup>は、卓越した解像性、プロセスの簡便性、低コスト性を兼ね備えたナノ加工技術として、多様な分野での産業応用が期待されている。

これまでに、熱可塑性樹脂を用いる熱ナノインプリント法と、光硬化性樹脂を用いる光ナノインプリント法が提案されている。熱ナノインプリント法は、様々な機能性材料を直接加工できるため、光学、バイオ、環境などそれぞれの目的に応じた材料を選択することができる。これまで、樹脂材料を中心に応用が進められているが、室外などの環境で恒久的に使用しようとした場合、信頼性や耐久性に問題が残る。とりわけ光学要素として利用する場合、屈折率の変化や透明度の劣化を引き起こす恐れがある。

一方、ガラス材料は耐湿性、耐熱性、耐薬性に優れる為、屋外での使用や恒久的に使用するには、ガラス材料への潜在的要望が大きい<sup>2)</sup>。ガラス材料の加工としては、1970年後半に小型のレンズ加工のためのモールド法が開発され、光ピックアップやデジタルカメラ用の小型レンズの成型が工業化されている。しかし、共鳴や反射防止など光学的に付加価値の高い機能を持たせるためには、ガラス表面へのサブ波長領域のナノ加工が必要となる。このため、ガラス材料のナノ加工方法の開発が進められている。ガラス材料に対するナノインプリントとしては、これまでにガラス基材表面を直接加工する方法と<sup>3,4)</sup>、有機溶剤系に溶解させたガラス材料を用いる方法<sup>5,6)</sup>が提案されている。ここでは、ガラス基材表面を直接加工する方法について述べる。

### 2. ガラスの機械的特性と成形性プロセス<sup>3)</sup>

ここでは、ガラスの機械的特性に基づき、ナノインプリントによる加工方法について説明す

〒599-8531 大阪府堺市中区学園町 1-1  
B-11 棟 206 号室

TEL 072-254-9267

FAX 072-254-9908

E-mail: hirai@pe.osakafu-u.ac.jp

る。

### 2.1 ガラス材料の機械的特性とプロセスシーケンス

図 2.1 に、市販の低融点ガラスの機械特性の一例を示す。この材料では、380℃ を過ぎると  $\tan\delta$  (粘性成分と弾性成分の比の正接) の値が次第に上昇し粘性成分が発現する。同時に、せん断弾性率  $G$  が徐々に減少し、420℃ 程度から急激に減少している。この温度付近でのせん断弾性率は、数 10 MPa 程度である。インプリント温度と圧力は、この付近が目安となる。しかし、例えば 400 度程度では粘性率は  $10^9 \text{Pa} \cdot \text{s}$  程度の高い値となっている。このため、変形に要する時間の目安となる緩和時間は、単純に近似すると (粘性率/プレス圧力) 1000 秒オーダーとなり、樹脂に比べて長い成形時間が必要となることが予測できる。プレス圧力を上げればそれに反比例して成形時間は短くできるが、

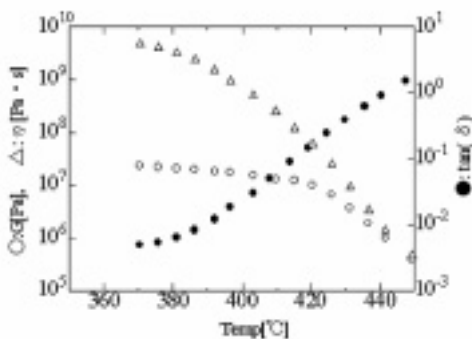


図 2.1 低融点ガラスのレオロジー特性の測定例 ( $\omega=1$ )

ガラスは脆性材料でもあるため、脆くて割れやすいために圧力を必要以上に上げると応力集中による割れが生じる。

一方、室温に戻すまでの温度差により、大きな熱収縮が発生し、ガラスとモールド (金型) の離型が困難となる恐れがある。

このため、図 2.2 に示すように、全体を冷却する前にモールドを離型し、形状を保持しながら冷却する方法が一般的である。この際、緩和時間が長いためにモールドを離型しても大きな形状の崩れは発生しにくいと考えられる。

このほか、ガラス材料の酸化による劣化を防ぐため、成型は真空中で行う必要がある。さらに、ガラス材料は、屈折率や熔融温度の調整のために多くの不純物を含む場合が多く、高温で変質してしまう場合がある。このため、材料の機械的特性とあわせて、化学的特性を含めた成型条件の最適化が必要となる。

一方、ガラス成型では、樹脂で用いられるフッ素系の離型剤が高温では利用できなくなる。このため、ガラスとの離型性に優れた SiC やグラッシーカーボン、WC などのモールド材料が用いられている<sup>2,4)</sup>。

### 2.2 ガラス材料への直接ナノインプリント

次に、前節までに述べた点に留意して行った実験結果を示す。図 2.3 は、インプリント圧力とパターン線幅を変化させた場合の直接ナノインプリント結果を示す。粘弾性特性から予測できるとおり、インプリント圧力が 10 MPa 以下では成型が不十分となるが、45 MPa まで上昇

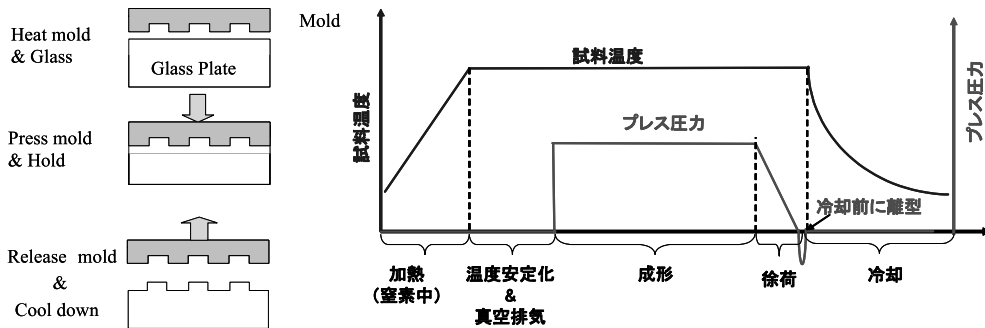


図 2.2 ガラス材料のナノインプリントプロセスシーケンス

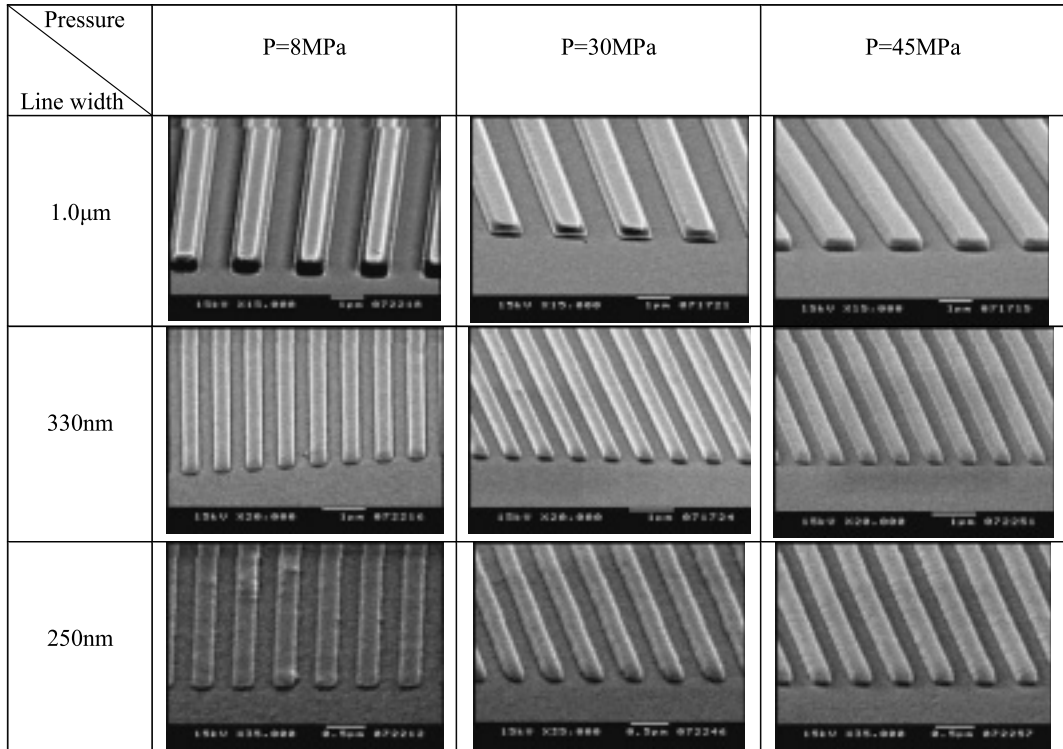


図 2.3 低融点ガラス材料への直接ナノインプリント結果 (405°C)

させるとナノパターンが成型できている。また、樹脂と同様にパターンのアスペクト比が大きくなると成型が難しくなっている。この例では、圧力を増すことにより線幅 250 nm までのパターンが転写できている。

### 3. ガラスの直接成型の応用

ガラス材料の優れた耐薬品性や光学特性を利用して、バイオチップや光学要素への応用が試みられている。ここでは、いくつかの応用事例について紹介する。

#### 3.1 高アスペクト比構造による波長板<sup>7,8)</sup>

ガラス材料は屈折率を広い範囲で制御できる可能性があるため、高アスペクト比構造と組み合わせることにより、光ピックアップに用いる高性能の波長版を作製することが期待される。図 3.1 に、ガラスの直接ナノインプリントによる高アスペクト比構造の波長版の作製例を示す。ここでは、より低圧力での成型を探るた

め、モールド作製時のエッチング条件をコントロールすることにより、モールド形状を変化させている。離型性も同時に向上し、高い周期構造を得ている。

#### 3.2 反射防止構造<sup>9,10)</sup>

図 3.2 に、ガラス材料レンズ表面への反射防止構造の作製例を示す。電子線描画などによる加工を施した SiC モールドを用いて、ガラス基材表面への直接ナノインプリントにより、レンズ表面に反射防止構造が直接作製している。高い反射防止効果が検証されている。

## 4. まとめ

ガラス材料は、優れた耐久性と安定性に加え、光学特性に優れるため、ナノ光学要素を中心とした産業応用が大きく期待されている。ガラスへの直接ナノインプリント法は、その有力な加工方法となるものと考えられる。今後、ナノインプリント技術によるガラス加工は、ソー

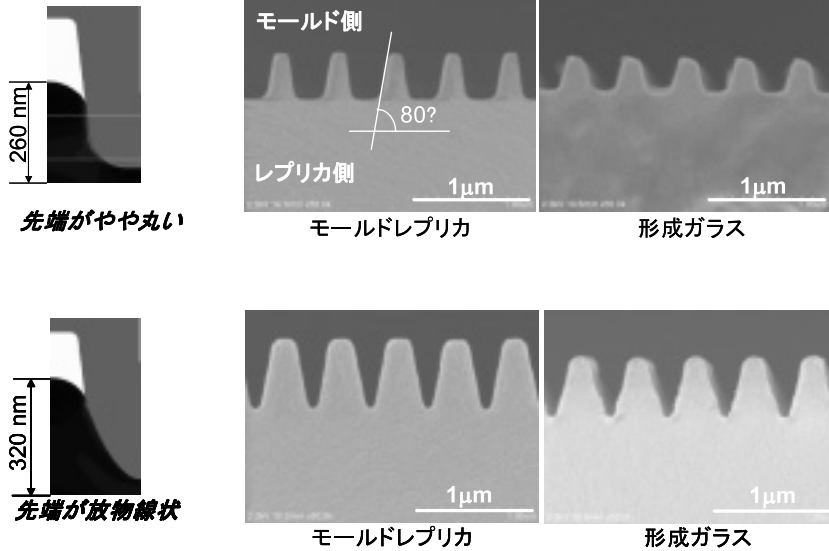


図 3.1 ガラスの高アスペクト比構造による波長板の作製<sup>8)</sup>

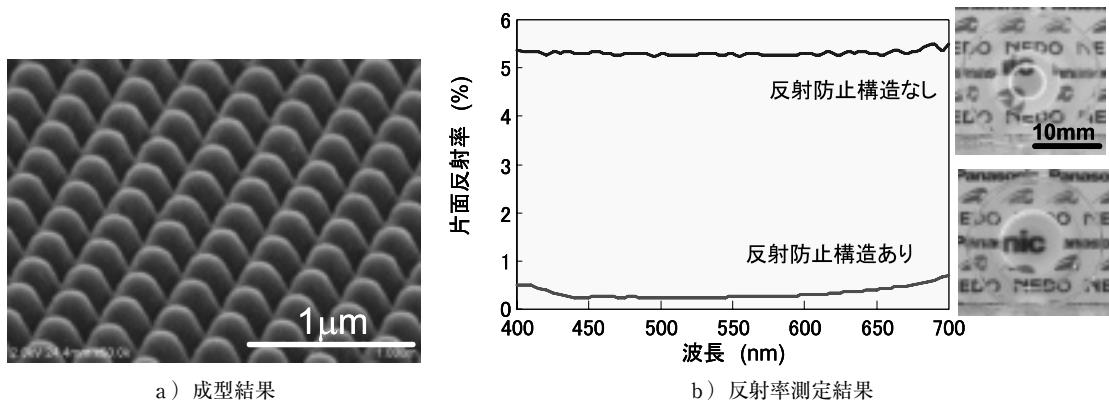


図 3.2 ガラスレンズ表面へ反射防止構造の作製例<sup>9,10)</sup>

ラデバイスへの応用や、その他のセラミック材料の加工など、環境技術への応用も含め、重要性は益々高まるものと考えられる。

謝辞

この報告は、NEDO 基盤技術研究促進事業「ガラス材対応 3次元ナノ構造インプリンティング技術開発」ならびに、NEDO 革新的部材産業創出プログラム「次世代光波制御材料・素子化技術」に係わる成果の一部である。資料をご提供いただいた、(独)産業技術総合研究所 関西センター 西井準治先生 (現 北海道大学教授) に感謝いたします。

参考文献

- 1) S. Chou, et al. : Appl. Phys. Lett. 67, (1995) 3114.
- 2) 西井準治; ナノインプリント技術研究会講演予稿集 (2009, 東京).
- 3) Y. Hirai, et al. : Micro-electronic Eng., 67-68, (2003) 237.
- 4) M. Takahashi, et al. : Jpn. J. Appl. Phys. 44 (2005) 5600.
- 5) S. Matsui, et al. : J. Vac. Sci. Technol. B 19 (2001) 2801.
- 6) M. Okinaka, et al. : J. Vac. Sci. Technol. B 24(2006) 1402.
- 7) T. Mori, et al. : Opt. Lett. 33 (2008) 428.
- 8) T. Mori, et al. ; Jpn. J. Appl. Phys., 48, (2009) 06 FH 20-1~4.
- 9) K. Yamada, et al. ; Appl. Surf. Sci., 255, (2009) 4267.
- 10) 田中康弘; ニューガラス 23 (2008) 32.