AFM を用いたナノインプリント金型用剥離剤の耐久性評価

Durability assessment of the release agent for nanoimprint metallic molds using AFM

○ (学) 舟越 皓太 東理大・工 (学) 白戸 翔 東理大・工
 (正) 坪井 涼 東理大・工 (正) 佐々木 信也 東理大・工
 (正) 谷口 淳 東理大・基工

Kouta Funakoshi, Tokyo University of Science, 1-14-6 Kudankita, Chiyoda-ku, Tokyo
 Shou Shirato, Graduate School of Tokyo University of Science, 1-14-6 Kudankita, Chiyoda-ku, Tokyo
 Ryo Tsuboi, Tokyo University of Science, 1-14-6 Kudankita, Chiyoda-ku, Tokyo
 Shinya Sasaki, Tokyo University of Science, 1-14-6 Kudankita, Chiyoda-ku, Tokyo
 Jun Taniguchi, Tokyo University of Science, 2641 Yamazaki, Noda, Chiba

Ultraviolet-nanoimprint lithography (UV-NIL) is a powerful tool for mass production of nano-scale patterns. In UV-NIL, it is very important to coat the mold surface with a release agent to prevent the adhesion of UV curable resin. However, the release agent has a lifetime by repeated UV-NIL transfer. Therefore, release layer is degraded and UV curable resin adheres to the mold surface. In this study, to clarify the degradation of the release agent, the durability and friction properties are investigated. As the test specimens, base material is Si and release agents are Optool and F13. Hence, the tests are performed for Si, Si with Optool and Si with F13. The results showed that Optool is low friction force and Optool and F13 is maintained performance to 1000 times.

Key Words: Release agent, Durability, nanoimprint, Optool, F13

1. 緒言

近年の IT 技術の進歩により、ネットワーク技術、ソフトウェア技術およびデバイス技術のさらなる進展が必要となっている。このため、特に半導体デバイスの分野においては、微細加工の高速化、低消費電力動作、システム LSI という名で呼ばれる機能の統合化などの更なる発展が求められている。その半導体デバイスの生産プロセスのコアテクノロジーであるリソグラフィ技術は装置の微細化が進むにつれ、装置価格の高騰化も同時に進んでおり問題となっている。その問題の解決手段として、ナノインプリント技術が注目を浴びている。

ナノインプリント技術は、ナノスケールの凹凸パターンを形成した型（ナノモールド）を樹脂などに押し当て、樹脂の表面にそのパターンを転写する加工技術である。加工材料は、熱可塑性樹脂、UV（Ultraviolet）樹脂、SOG（Spin on Glass）やガラス⁽¹⁾などがある。いずれの材料においても、ナノモールドを被加工材料に押し当てて行うことは変わらないが、被加工材料が固化する過程は異なる。ナノインプリント技術の開発当初は、熱可塑性樹脂を用いて、冷却することで固化を行う熱ナノインプリントリソグラフィが最も一般的に用いられていた。しかしながら、レジストの昇温、冷却にかかる時間によるスループットの低下、温度差による寸法変化、熱膨張による粗い面が生じることによる転写パターンの精度の低下などの問題が生じた。そこで、これらを解決するために、熱以外の効果方法として、開発された技術が光ナノインプリントリソグラフィである。光ナノインプリントリソグラフィは、被加工材料として UV 樹脂を用い、ナノモールドを押し当てている最中に紫外線を樹脂材料へ照射して、樹脂を硬化させる。これにより、熱による硬化に比べて、スループットが高く、温度による寸法変化を防ぐことができる。また、紫外光を透過するモールドを使用するので、モールドを透過しての位置合わせを行えるという利点もある。このような利点から、光ナノインプリントリソグラフィは微細な構造を簡便、かつ低コストに形成できるため、電子デバイスをはじめ、バイオデバイスなどへの応用展開が期待されている。

しかしながら、もともと光硬化性樹脂は光ファイバーの接着剤として使われており、付着性を有している。そのため、モールドを樹脂から剥離する際に、モールドと樹脂が付着し、転写不良が発生するという問題がある。これは、ナノスケールにおいて顕著であり、剥離時の付着面の揺動による凝着が原因であると考えられる。そのため、付着面の摩擦を減少させ、樹脂の付着を減少させる性能を持つ光ナノインプリントリソグラフィに適した剥離剤の適用が求められている。

そこで、本研究では、光ナノインプリントリソグラフィにおける剥離剤の摩擦特性や耐久性などの性能評価を目的として実験的検討を行った。本報では、ピンオンディスク型往復動揺動試験機および AFM（Atomic Force Microscope）を用いて行った剥離剤の性能評価の結果を報告する。

2. 実験条件

本実験で使用した試験片は、オゾン洗浄のみを行ったシリコン、Optool DSX（Daikin Co.）（図 1）をコーティングしたシリコン、F13（図 2）⁽²⁾をコーティングしたシリコンの計 3 種類を用いた。各試験片の大きさは 20 mm×20 mm である。

Fig. 1 Structural formula of Optool

Fig. 2 Structural formula of F13

3. 試験機

ピンオンディスク型往復動摩擦試験機の概略を図3に示す。ピンは先端にアクリル系のラジカル重合タイプの UV 硬化樹脂（東洋合成工業,PAK-01）を塗布し、光硬化させたものを使用し、5 回摺動を行う毎に摩擦係数を測定した。試験条件を表 1 に示す。

Table 1 Test Condition of Tribotester

Test method	Reciprocating
Load, N	20
Temperature, °C	25
Speed, mm/s	5.0
Amplitude, mm	10
Atmosphere	Air

AFM の概略を図 4 に示す。測定はコンタクトモードで行い、試験片の形状像を測定後、フリクショナルカーブを求め、摩擦力を比較した。使用したカンチレバー（SN-AF01）は、 Si_3N_4 製でチップ直径が 20 nm、共振周波数が 34 kHz、バネ定数が 0.08 であった。試験条件を表 2 に示す。

Table 2 Test Condition of AFM

Load, nN	10
Temperature, °C	25
Speed, Hz	1.0
Amplitude, μm	2.284
Atmosphere	Air

3. 実験結果

図 5 は往復動型摺動試験の結果である。図 5 より、剥離剤をコーティングすることにより、摩擦係数は減少することが確認できた。Optool と F13 を比較すると Optool の方が摩擦

低減効果は良好な傾向を示した。また、Optool, F13 共に摺動回数が 1000 回に達しても剥離した現象は見受けられなかった。

図 6 は AFM によるフリクショナルカーブである。フリクショナルカーブの平均値は, Si が 0.246 V, Optool が 0.0295 V, F13 が 0.0646 V であった。図 6 またフリクショナルカーブの平均値から、コーティングすることにより、摩擦力が減少することは確認できた。また Optool と F13 を比較すると摩擦低減効果は Optool の方が良好な傾向を示し、摩擦力の大きさは Optool が最も低い値となり、往復動型摺動試験時と同様の傾向を得た。また往復動型摺動試験後に測定した形状像を図 7 に示す。光硬化性樹脂の移着は、F13 において顕著に見られた。

4. 結言

光ナノインプリントリソグラフィにおける剥離剤として Optool と F13 に着目し、往復動摩擦試験機と AFM を用いて性能評価を行い、以下の知見を得た。

- (1) 剥離剤をコーティングすることで、摩擦係数は減少する。
- (2) Optool と F13 を比較すると、Optool の方が低い摩擦係数の挙動を示した。
- (3) 摺動回数が 1000 回を超えても Optool と F13 は、共に剥離せず剥離剤としての機能を維持した。
- (4) 光硬化性樹脂の移着は、F13 処理表面において顕著に見られた。

引用文献

- (1) モノづくりのための実用材料の表面機能化設計テクノロジー, pp.709-713.
- (2) D. Yamashita, J. Taniguchi, H. Suzuki, "Lifetime evaluation of release agent for ultraviolet nanoimprint lithography", Microelectronic Engineering, Vol. 97 (2012), pp.109-112.

Fig. 4 Schematic of AFM

Fig. 5 Friction behavior in Tribotester

Fig. 6 Friction behavior in AFM

(a) Si

(b) Optool

(c) F13

Fig. 7 Surface image of AFM (After Tribotester)