

## 열 나노임프린트 리소그래피에서 사용되는 스탬프와 폴리머 재료 사이의 접착 특성

김광섭<sup>†</sup> · 강지훈 · 김경웅<sup>‡</sup>

한국과학기술원 기계공학과

### Adhesion Characteristics between Stamp and Polymer Materials Used in Thermal Nanoimprint Lithography

Kwang-Seop Kim<sup>†</sup>, Ji-Hoon Kang and Kyung-Woong Kim<sup>‡</sup>

*Dept. of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology(KAIST)*

**Abstract** – In this paper, the adhesion characteristics between a fused silica without or with an anti-sticking layer and a thermoplastic polymer film used in thermal NIL were investigated experimentally in order to identify the release performance of the anti-sticking layer. The anti-sticking layers were derived from fluoroalkylsilanes, (1H, 1H, 2H, 2H-perfluorooctyl)trichlorosilane (F<sub>13</sub>-OTS) and (3, 3, 3-trifluoropropyl)trichlorosilane (FPTS), and coated on the silica surface in vapor phase. The commercial polymers, mr-I 7020 and 8020 (micro resist technology, GmbH), for thermal NIL were spin-coated on Si substrate with a rectangular island which was fabricated by conventional microfabrication process to achieve small contact area and easy alignment of flat contact surfaces. Experimental conditions were similar to the process conditions of thermal NIL. When the polymer film on the island was separated from the silica surface after imprint process, the adhesion force between the silica surface and the polymer film was measured and the surfaces of the silica and the polymer film after the separation were observed. As a result, the anti-sticking layers remarkably reduced the adhesion force and the surface damage of polymer film and the chain length of silane affects the adhesion characteristics. The anti-sticking layers derived from FPTS and F<sub>13</sub>-OTS reduced the adhesion force per unit area to 38% and 16% of the silica surfaces without an anti-sticking layer, respectively. The anti-sticking layer derived from F<sub>13</sub>-OTS was more effective to reduce the adhesion, while both of the anti-sticking layers prevented the surface damages of the polymer film. Finally, it is also found that the adhesion characteristics of mr-I 7020 and mr-I 8020 polymer films were similar with each other.

**Key words** – thermal nanoimprint lithography, adhesion, anti-sticking layer, thermoplastic polymer film.

### 1. 서 론

나노미터 크기의 구조물을 빠르고 경제적으로 제조하기 위한 요구는 나노과학 및 나노기술 발전의 큰 원동력이며, 이를 위한 다양한 가공 기술 및 제조 방법이 개발되고 있다. 지금까지 개발된 여러 가지 나노 제조 기술 중, 1990년대 중반에 Chou 등[1]이 제안한 나노

임프린트 리소그래피(nanoimprint lithography, NIL) 방법은 적은 비용으로 나노미터 크기의 구조물을 빠르게 대량생산할 수 있는 기술로 최근 각광받고 있다. 나노 임프린트 리소그래피는 표면에 나노미터 크기의 패턴이 각인된 단단한 스탬프(stamp)로 폴리머 필름(polymer film)을 눌러서 소성변형 시킴으로써 폴리머 필름의 표면에 패턴을 전사하는 방법이다. 패턴이 전사된 폴리머는 그 자체로 기능성 폴리머 박막으로 사용되거나 폴리머 필름이 코팅되어 있는 기판에 패턴을 전사하기 위한 마스크로 사용된다.

<sup>†</sup>주저자 : kims@kaist.ac.kr

<sup>‡</sup>책임저자 : taeho@kaist.re.kr

나노미터 크기의 구조물을 제작하는데 있어서 나노임프린트 방법과 다른 방법 사이의 주요한 차이점은 스탬프를 폴리머 필름에 직접적으로 접촉시켜 패턴을 전사한다는 것이다. 빛을 이용하는 광 리소그래피나 X선 리소그래피의 경우, 빛의 회절 특성으로 인해 전사할 수 있는 패턴의 크기가 제한되지만, 나노임프린트 방법에서 패턴의 크기는 오직 스탬프 패턴에 의해 결정되며, 현재 수 나노미터 크기의 패턴 전사가 보고되고 있다 [2]. 또한 스탬프는 재사용이 가능하고, 넓은 면적의 스탬프를 이용할 경우 나노미터 크기의 구조물을 빠르게 대량으로 생산할 수 있으므로 기존의 나노미터 크기의 패턴을 전사하는데 사용되었던 e-beam 리소그래피나 probe 리소그래피 방법에 비해 생산성이 월등히 뛰어나다. Chou 그룹이 NIL 방법을 제시한 이후, 나노임프린트 리소그래피는 많은 연구를 통해 여러 가지 형태로 발전해 왔으며, 사용하는 폴리머 필름에 따라 크게 열 가소성 폴리머 필름을 사용하는 thermal NIL과 UV 경화성 폴리머 필름을 사용하는 UV NIL로 구분된다 [3]. 나노임프린트 방법을 이용하여 트랜지스터 (transistor) [4-6]나 필터(filter) [7,8]와 같은 전기 전자 소자 및 광학 결정 (photonic crystal) [9], OLEDs (organic light emitting devices) [10,11], 편광기 (polarizer) [12] 등의 광학 소자, 바이오 디바이스 [13,14] 등의 제작이 보고되고 있다.

스탬프와 폴리머 필름 사이의 직접적인 접촉은 위에서 기술한 장점뿐만 아니라 여러 가지 문제점을 야기시킨다. 직접적인 접촉으로 인해 스탬프와 폴리머 필름 사이에 점착 및 마찰이 필연적으로 발생하며, 이로 인해 분리과정 동안 폴리머 필름에 전사된 패턴의 파괴 및 변형 [15], 스탬프의 파괴 [16]와 같은 심각한 결함이 발생한다. 나노임프린트 리소그래피에서 주로 사용되는 스탬프 재료는 silicon, fused silica, quartz, nickle 등이다. 이 재료들은 일반적인 미세가공 공정 (microfabrication process)에 적합한 재료이지만, 표면 에너지가 매우 커서 폴리머 필름과 직접 접촉할 경우 심각한 결함을 유발할 수 있다. 점착과 마찰로 인해 발생하는 이러한 결함의 발생을 예방하기 위해 일반적으로 스탬프 표면에 점착방지막을 코팅한다. 따라서 NIL에서 성공적인 패턴전사를 위해서는 점착방지막의 분리 성능에 대한 연구가 매우 중요하다.

Thermal NIL에서 사용되는 점착방지막에 대해 다음과 같은 연구가 진행되었다. Jaszewski 등 [17]은 니켈 스탬프에 점착방지막으로서 polytetrafluoroethylene (PTFE) 필름을 코팅한 후 임프린트 공정을 수행하여 PTFE 점착

방지막의 퇴화 원인 및 과정을 연구하였다. 그 후 Beck 등 [18]은 Jaszewski 등이 제안한 PTFE 필름보다 self-assembled monolayer (SAM)가 나노미터 크기의 패턴이 각인된 스탬프의 점착방지막으로서 더 적합하며, SAM 용액을 기화시켜 스탬프에 코팅하는 방법으로 만들어진 점착방지막이 SAM 용액에 스탬프를 담궈서 코팅하는 방법으로 만들어진 점착방지막보다 더 우수한 분리 성능을 보임을 보고하였다. Chen 등 [19]에 의해 SAM의 사슬길이에 따른 점착 특성의 변화에 대한 연구도 이루어 졌다. 그들은 (1H, 1H, 2H, 2H-perfluorooctyl) trichlorosilane (F<sub>13</sub>-OTS) 으로부터 유도된 점착방지막이 코팅된 Si 스탬프와 F<sub>13</sub>-OTS 보다 사슬길이가 짧은 (3,3,3-trifluoropropyl) trichlorosilane (FPTS)로부터 유도된 점착방지막이 코팅된 Si 스탬프의 점착 및 표면 에너지, 표면 형상, 간단한 임프린트 실험 후 전사된 패턴의 형상을 각각 비교하여 F<sub>13</sub>-OTS로부터 유도된 점착방지막의 분리 성능이 더 우수하다는 것을 보고하였다. Park 등 [20]은 Ni 스탬프를 위한 점착방지막에 대해 연구하였다. 그들은 Ni 기판 위에 3개의 다른 산화층을 만들고 그 위에 fluorinated silane을 코팅하여 점착방지막을 형성한 후에 각 점착방지막의 점착방지 성능을 비교하기 위해 lateral force microscopy (LFM) 을 이용한 마찰력 측정 및 임프린트 실험 후 폴리머 필름의 파괴 유무를 관찰하였다. Schiff 등 [21]은 SAM 점착방지막의 점착방지 성능의 향상을 위해 새로운 코팅 방법을 개발하였다. 그들은 사슬길이가 다른 두 종류의 SAM을 동시에 기화시켜 스탬프에 코팅함으로써 더 좋은 점착방지 특성을 갖는 점착방지막을 만들 수 있음을 보였다. 최근 Tallal 등 [22]은 atomic force microscopy (AFM)을 이용한 나노인텐테이션 실험을 통해 thermal NIL에서 사용되는 여러 가지 점착방지막과 폴리머 필름 사이의 점착력을 상온에서 측정하여 점착 특성을 조사하였다.

지금까지 점착방지막의 분리 성능을 평가하기 위해 점착 측정, 표면에너지 계산, 간단한 임프린트 실험 후에 폴리머 필름 표면의 관찰, AFM을 이용한 점착력 측정 등의 방법이 이용되어 왔다. 하지만 점착방지막의 분리 성능을 평가하는 본질적인 방법은 실제 공정 조건과 똑같은 조건에서 점착방지막이 코팅된 스탬프와 폴리머 필름 사이의 점착력을 측정하는 것이다. 이러한 점착력의 평가는 다양한 폴리머 필름 및 패턴 크기, 공정 조건에 대해 가장 적절한 점착방지막을 선택하는데 기초적인 자료를 제공하며, 나아가 소재 및

공정 개발에 유용한 정보를 제공할 것이다. 실제로 UV 나노임프린트 리소그래피의 경우, UV 경화성 폴리머 필름과 점착방지막 사이의 점착력을 측정하여, 점착방지막의 분리 성능을 정량적으로 알아보고 이를 공정에 응용한 사례가 있다. Taniguchi 등[23]과 Sasaki 등[24]은 여러 가지 폴리머 필름과 점착방지막 사이의 점착력을 측정하여 점착력이 작고 내구성이 뛰어난 폴리머 필름과 점착방지막 소재의 조합을 찾아낼 수 있었고, 실험 결과를 나노임프린트 공정에 반영하여 좋은 패턴 전사 결과를 얻을 수 있었다고 보고 하였다.

본 연구에서는 열 나노임프린트 공정에서 사용되는 점착방지막의 분리 성능을 알아보기 위해 열가소성 폴리머 필름과 silane으로부터 유도된 점착방지막이 코팅된 fused silica 사이의 점착 특성에 관한 연구를 수행하였다. 이를 위해 열 나노임프린트 공정과 유사한 공정 조건하에서 폴리머 필름과 스탬프 사이의 점착력을 측정하였으며, 실험 후 폴리머 필름과 스탬프의 표면을 현미경으로 관찰하여 표면 손상 정도를 조사하였다. 이를 통해 점착방지막의 점착력 감소 효과 및 표면 손상 방지 효과를 확인하였다.

## 2. 실험

### 2-1. 재료 및 시편의 준비

폴리머 필름과 접촉하는 재료로서 표면에 패턴이 없는 평평한 fused silica 웨이퍼를 사용하였다. Fused silica는 나노임프린트 리소그래피에서 스탬프 재료로서 가장 많이 사용되는 재료 중에 하나이다. 두께가 500  $\mu\text{m}$ 이고, UV 등급의 양면이 폴리싱된 fused silica 웨이퍼를 2 cm $\times$ 2 cm로 잘라서 사용하였다. Fused silica의 표면 세정 순서는 다음과 같다. 먼저 표면의 오염물질을 제거하고 수산화기로 덮힌 표면을 만들기 위해 silica를 piranha용액(황산:과산화수소=2(v):1(v))에 넣어 10분 동안 반응시킨 후, deionized (DI) water (specific resistance $\approx$ 18.3 M $\Omega$ )에 3번 린스하고 질소가스로 불어주어 표면에 남아 있는 DI water를 제거하였다. 세정 후에 AFM(PSIA Inc.)으로 측정된 silica의 RMS 표면 거칠기는 약 4  $\text{\AA}$ 이었다. 점착방지막으로서 F<sub>13</sub>-OTS로부터 유도된 점착방지막과 FPTTS로부터 유도된 점착방지막을 사용하였다. F<sub>13</sub>-OTS나 FPTTS와 같은 trichlorosilane은 물의 가수분해를 통해 수산화기로 덮힌 표면과 공유결합을 하여 표면에 단분자층(monolayer)을 형성하는 것으로 알려져 있다[25]. Silane

은 1시간 동안 0.1 atm의 진공 챔버에서 기체 상태로 silica 표면에 코팅된다. silica 표면의 접촉각은 DSA-100 접촉각 측정기(KRÜSS, GmbH)를 이용하여 약 3  $\mu\text{l}$ 의 2차 증류수를 silica 표면에 떨어뜨려 측정하였다.

나노임프린트 리소그래피에서는 적용분야에 따라 Si, GaAs, metal, glass등 다양한 기판(substrate)이 사용된다. 본 연구에서는 표면에 정사각형 돌기가 있는 Si 기판을 제작하였다. 정사각형 돌기는 접촉면적을 작게 하여 평평한 폴리머 필름과 silica 표면을 잘 접촉시키기 위해 만들어 졌으며, 일반적인 광리소그래피와 건식 식각(dry etching) 공정을 이용하여 제작하였다. Si 기판의 크기는 1 cm $\times$ 1 cm이고 두께는 약 400  $\mu\text{m}$ 이며, Si 기판 중앙에 있는 정사각형 돌기는 Fig. 1에서 보이는 것 처럼 한 변의 길이가 770  $\mu\text{m}$ 이고 면적은 약 0.59 mm<sup>2</sup>이며 높이가 약 110  $\mu\text{m}$ 이다. Si 기판의 세정 순서는 다음과 같다. Piranha 용액에 10분 동안 넣어 반응시킨 후, DI water로 3번 린스하고, 그 후 buffered oxide etch 용액에 10초 동안 담겨 표면에 생성된 자연 산화막을 제거한다. 다시 DI water에 3번 린스하고 질소가스로 불어주어 DI water를 제거한다. 그 이후에 Si 기판에 액상의 폴리머를 스핀코팅한다. 폴리머로는 상용화된 나노임프린트 공정용 열가소성 폴리머인 mr-I 7020과 mr-I 8020(micro resist technology, GmbH)을 사용하였다. 각각의 폴리머를 Si 기판에 스핀코팅한 후, 베이킹을 수행하였다. 폴리머 소재의 코팅 및 베이킹 조건은 Table 1과 같다. Si 돌기에 코

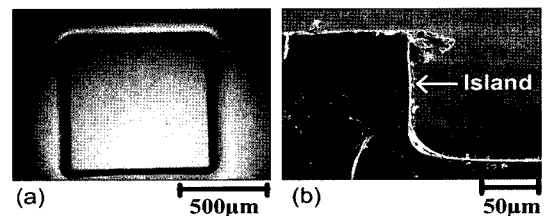


Fig. 1. Images of island on Si substrate : (a) optical microscope image of top of island, (b) scanning electron microscope image of cross section of island.

Table 1. Conditions for polymer film preparation

Materials	mr-I 7020	mr-I 8020
T <sub>g</sub>	60°C	115°C
Spin coating	1000 rpm for 35 sec	
Baking	90°C for 3 min	140°C for 3 min

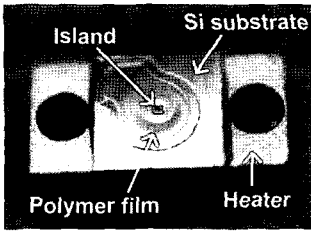


Fig. 2. Si substrate mounted on heater after spin-coating.

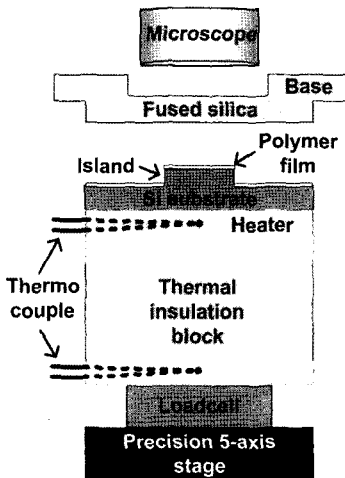


Fig. 3. Schematic of experimental setup.

팅된 폴리머 필름의 돌기 중앙에서의 두께는 약 280 nm였다. 실험 시 돌기에 코팅된 폴리머 필름만이 silica 표면과 접촉하게 된다. 이렇게 준비된 Si 기판은 고진도 알루미늄 접착제를 이용하여 히터에 접착되며, 접착된 후의 모습은 Fig. 2와 같다.

2-2. 실험 장치 및 방법

Fig. 3는 실험장치의 개략도이다. Fused silica는 베이스에 고정되어 있다. 5축 정밀 스테이지 위에 로드셀이 놓여있고, 히터로부터의 열전달을 막기 위한 단열블럭이 로드셀 위에 올려져 있다. Si 기판이 접착되어 있는 히터를 단열블럭에 볼트로 고정하였다. 실험이 진행되는 동안 silica와 폴리머 필름의 접촉면은 베이스 위에 있는 현미경과 CCD 카메라로 관찰된다. 열전대를 이용하여 히터와 단열블럭의 밑부분에서의 온도를 측정하였다.

Fig. 4는 실험결과에 대한 한 예이다. Fig. 4와 같이 실험 동안 하중과 온도가 측정된다. 실험은 다음과 같은 순

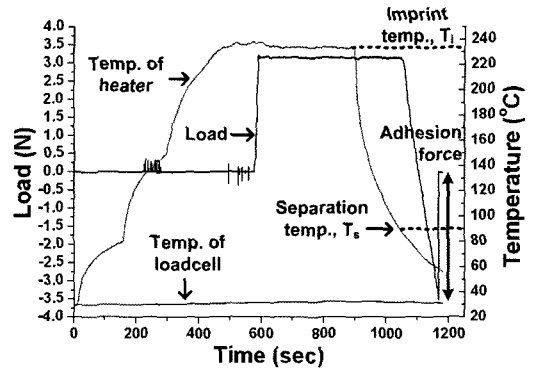


Fig. 4. An example of experimental results in case of the silica surface without an anti-sticking layer and mr-I 7020 polymer film : load and temperatures of heater and loadcell versus time.

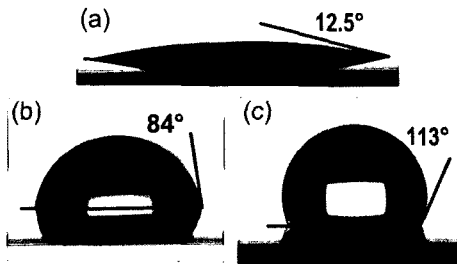
서로 이루어진다. 먼저 정밀 스테이지를 이용하여 Si 돌기 위에 코팅된 폴리머 필름의 표면이 silica 표면과 전면으로 걸쳐 접촉할 수 있도록 두 표면을 평행하게 정렬한다. 정렬 상태는 silica와 폴리머 필름 사이에 있는 공기막의 두께 차이로 인해 발생하는 간섭무늬로 확인할 수 있으며, 간섭무늬가 나타나지 않도록 silica 표면에 대해 폴리머 필름을 정렬한다. 그 다음 히터를 폴리머 필름의 유리전이온도보다 80°C 이상 높은 임프린트 온도(imprint temperature,  $T_i$ )까지 가열한 후, 스테이지를 위로 올려 폴리머 필름을 silica 표면에 접촉시킨다. 이때 접촉압력이 약 5.5 MPa이 될 때까지 스테이지를 이용하여 하중을 가해준다. 히터의 온도와 접촉압력을 5분 동안 일정하게 유지한 후, 히터의 전원을 끄고 폴리머 필름을 냉각시킨다. 히터의 온도가 분리 온도(separation temperature,  $T_s$ )까지 낮아지면 스테이지를 내려 폴리머 필름을 silica로부터 떼어내기 시작한다. Silica와 폴리머 필름 사이의 점착력으로 인해 인장력이 가해져도 서로 떨어지지 않다가, 인장력이 점착력 보다 커지는 순간 떨어지게 된다. Silica와 폴리머 필름이 완전히 떨어지기 직전에 로드셀에 작용한 최대 인장력을 점착력이라 하였다. 각 폴리머 필름에 대한 실험 조건은 Table 2에 정리되어 있다. 실험 조건은 일반적인 열 나노임프린트 공정을 고려하여 정하였으며, 모든 실험은 상온, 실내습도 환경에서 수행되었다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 5는 점착방지막이 코팅되기 전과 후의 fused

**Table 2. Experimental conditions**

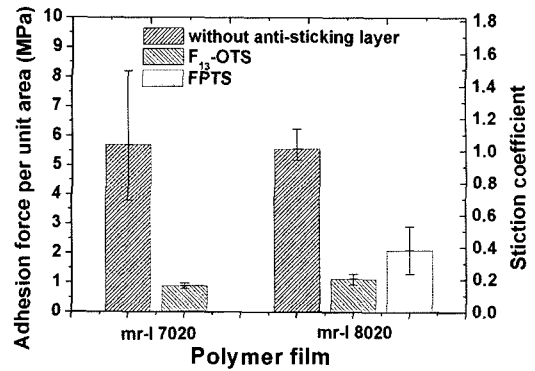
Materials	mr-I 7020	mr-I 8020
Imprint temperature, $T_i$ (°C)	185~200	225~240
Imprint pressure (MPa)		5.5
Imprint time (min.)		5
Separation temperature, $T_s$ (°C)	40	90
Unloading speed (mN/sec)		55



**Fig. 5. Contact angle of silica surface (a) without anti-sticking layer, (b) with anti-sticking layer derived from F<sub>13</sub>-OTS, (c) with anti-sticking layer derived from FPTS.**

silica 표면의 접촉각을 보여준다. 점착방지막이 코팅되지 않은 silica 표면의 접촉각은 12.5도로 낮지만, FPTS와 F<sub>13</sub>-OTS로부터 유도된 점착방지막이 코팅된 후에는 접촉각이 각각 84도와 113도로 증가하였다. 접촉각 측정 결과로부터, 점착방지막을 코팅함으로써 silica 표면의 표면에너지를 낮출 수 있으며, 특히 상대적으로 사슬길이가 긴 F<sub>13</sub>-OTS로부터 유도된 점착방지막이 코팅된 경우, FPTS로부터 유도된 점착방지막이 코팅된 경우보다 표면에너지가 더 작음을 알 수 있었다. 이러한 경향은 이전 연구 결과와도 잘 일치한다[19].

Fig. 6은 점착력 측정 실험을 통해 측정된 단위 면적당 점착력 및 점착 계수를 보여준다. 점착계수는 단위 면적당 점착력에 대한 임프린트 압력의 비로 정의하였다. mr-I 7020 폴리머 필름의 경우, silica 표면에 F<sub>13</sub>-OTS로부터 유도된 점착방지막을 코팅했을 때 단위 면적당 점착력이 5.7 MPa에서 0.88 MPa로 감소하였다. 즉, 점착계수는 1.0에서 0.16로 감소하였다. 이러한 경향은 mr-I 8020 폴리머 필름에서도 나타났다. F<sub>13</sub>-OTS로부터 유도된 점착방지막이 코팅된 silica의 경우, 단위 면적당 점착력이 5.6 MPa에서 1.1 MPa로 감소하였다. 이 경우에 점착계수는 1.0에서 0.2로 감소하였다. F<sub>13</sub>-OTS로부터 유도된 점착방지막의 경우, 점착력의 감



**Fig. 6. Adhesion forces per unit area and stiction coefficient between various silica surfaces and polymer films.**

소량은 mr-I 8020 폴리머 필름과 접촉하는 경우보다 mr-I 7020 폴리머 필름과 접촉하는 경우에 약간 더 크게 나타났지만 두 폴리머 필름에 대해 공히 점착력을 효과적으로 감소시킴을 확인하였다. 두 폴리머 필름에 대한 점착력 측정 결과가 비슷하게 나타났는데, 그 이유는 두 폴리머 모두 아로마틱 성분을 함유한 methacrylate copolymer를 기초로 합성된 폴리머로서 성분이 유사하기 때문인 것으로 추측된다[26]. FPTS로부터 유도된 점착방지막이 코팅된 silica와 mr-I 8020 폴리머 필름 사이의 단위 면적당 점착력은 2.1 MPa로 F<sub>13</sub>-OTS로부터 유도된 점착방지막의 경우보다 2배 크게 측정되었다. 이는 접촉각 측정 결과로부터 알 수 있듯이 FPTS로부터 유도된 점착방지막의 표면에너지가 F<sub>13</sub>-OTS로부터 유도된 점착방지막의 표면에너지보다 더 크기 때문이다. 점착방지막이 코팅되지 않은 silica의 경우에 측정된 점착력 결과의 편차가 심한데, 이는 공기 중의 미세한 먼지나 오염물질이 표면에너지가 큰 silica 표면에 들러붙었기 때문으로 생각된다.

Fig. 7은 실험 중에 관찰된 silica와 폴리머 필름 사이의 접촉면을 보여준다. Fig. 7(a)는 정렬된 후, silica 표면과 접촉하기 전에 현미경을 통해서 본 폴리머 필름의 표면을 보여준다. 코팅된 폴리머 필름의 두께가 균일하지 못해 약간의 간섭무늬가 발생하였으며, 특히 사각형 돌기의 가장자리 부분에서는 스펀코팅 시 형성된 edge bead가 보인다. Fig. 7(b)는 원하는 접촉압력으로 접촉시킨 직후의 접촉면을 보여준다. Edge bead에 의해 가장자리에 있는 폴리머 필름이 silica 표면과 먼저 접촉하며, 돌기의 중앙에는 공기가 차 있게 되는데, 이러한 현상은 실제 나노임프린트 공정에서 발생

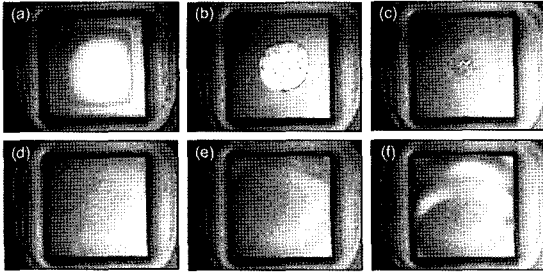


Fig. 7. Microscope images of contact area during experiment : (a) 0, (b) 595, (c) 630, (d) 895, (e) 1139, (f) 1163 seconds in Fig. 4.

하는 air entrapment 현상과 유사하다. 접촉압력을 유지하면 접촉면적은 점점 증가하여(Fig. 7(c)), Fig. 7(d)와 같이 돌기의 전 면적에 걸쳐 폴리머 필름과 silica가 접촉하게 된다. 분리 과정 동안 Fig. 7(e,f)와 같이 폴리머 필름은 접촉면의 가장자리부터 점차적으로 silica 표면으로부터 떨어지게 된다.

Fig. 8은 폴리머 필름을 silica로부터 떼어낸 후에 현미경으로 관찰한 silica 표면과 폴리머 필름 표면을 보여준다. 점착방지막이 코팅되어 있지 않은 silica 표면의 경우에 폴리머 필름의 종류에 상관없이 점착으로 인해 폴리머 필름의 표면이 손상되었다. Fig. 8(a,c)와

같이 돌기 위에 코팅된 폴리머 필름의 일부가 빗살무늬 모양으로 뜯겨져 silica 표면으로 전이되는 현상이 발생했다. 이러한 폴리머 필름의 손상과는 다르게 Fig. 8(c,e)에서 보여지는 것과 같이 돌기의 모양을 따라 폴리머 필름이 뜯겨져서 silica 표면으로 전이되었다. 이것은 임프린트 과정 동안 임프린트 압력으로 인해 돌기 밖으로 밀려나온 폴리머의 일부가 silica 표면에 들러붙은 것으로서 폴리머 필름이 silica 표면과 분리될 때는 돌기의 가장자리부터 분리되므로 점착력 측정 결과에는 영향을 미치지 않으며, 또한 폴리머 필름에 손상이 발생한 것으로 볼 수 없다. 점착방지막이 코팅되지 않은 silica 표면과는 대조적으로 점착방지막이 코팅된 silica의 경우엔 폴리머 필름이 거의 손상되지 않았다(Fig. 8(b,d)). 폴리머 필름에서 보여지는 간섭무늬는 폴리머 필름의 두께가 불균일하여 발생한 것으로, 이것은 silica와 폴리머 필름 사이의 정렬 오차와 임프린트 압력으로 인한 silica와 돌기의 탄성 변형으로 인해 발생한 것으로 생각된다. 또한 Fig. 8(e)와 같이 FPTS로부터 유도된 점착방지막이 코팅된 silica의 경우에도 돌기에 코팅된 폴리머 필름은 손상되지 않았다. 이러한 결과로부터  $F_{13}$ -OTS와 FPTS로부터 유도된 점착방지막은 점착력뿐만 아니라 폴리머 필름의 표면 손상을 감소시키는데도 매우 효과적임을 알 수 있었다. 두 점

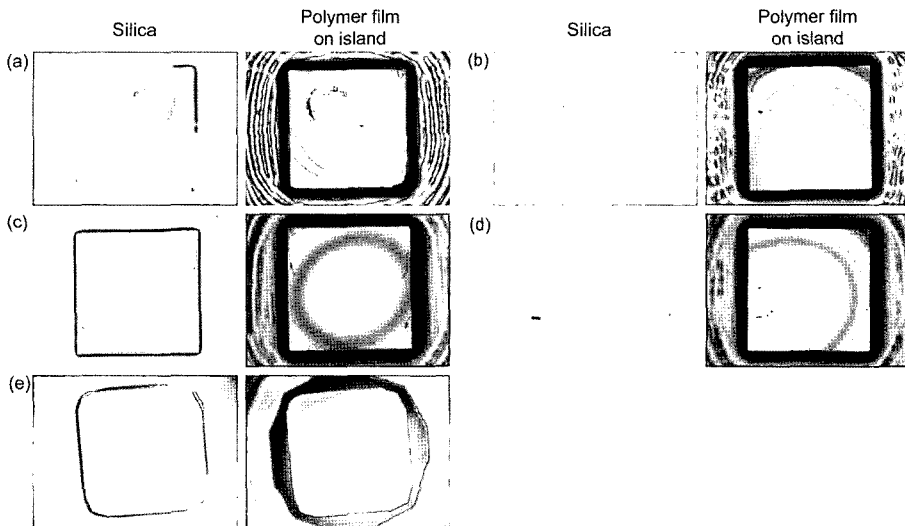


Fig. 8. Microscope images of surfaces of silica and polymer film after separation in cases of (a) the silica without an anti-sticking layer and mr-I 7020, (b) the silica with the anti-sticking layer derived from  $F_{13}$ -OTS and mr-I 7020, (c) the silica without an anti-sticking layer and mr-I 8020, (d) the silica with the anti-sticking layer derived from  $F_{13}$ -OTS and mr-I 8020, (e) the silica with the anti-sticking layer derived from FPTS and mr-I 8020.

착방지막 모두 표면 손상을 방지하는데 효과적이지만 점착력 측정 결과를 고려해 보면, 더 작고 세장비가 큰 형상의 패턴을 폴리머 필름에 전사할 경우엔  $F_{13}$ -OTS로부터 유도된 점착방지막이 더 효과적일 것으로 예상된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 열 나노임프린트 공정에서 사용되는 점착방지막의 분리 성능을 알아보기 위해 열가소성 폴리머 필름과 silane으로부터 유도된 점착방지막이 코팅된 fused silica 사이의 점착 특성을 조사하였다. 이를 위해 열 나노임프린트 공정과 유사한 실험 조건하에서 폴리머 필름과 silica 사이의 점착력을 측정하였으며, 분리 후 폴리머 필름과 silica의 표면을 현미경으로 관찰하여 표면 손상 정도를 조사하였다. 점착방지막을 코팅하지 않은 silica의 경우엔 단위 면적당 점착력이 굉장히 크게 발생하고, 그 결과 폴리머 필름의 표면도 심각하게 손상되는 것을 관찰하였다. 반면에 점착방지막을 코팅한 경우에는 단위 면적당 점착력이 상당히 줄어들며, 눈에 띄는 폴리머 필름의 손상은 발견되지 않았다. FPTS와  $F_{13}$ -OTS로부터 유도된 점착방지막은 단위 면적당 점착력을 점착방지막이 코팅되지 않은 경우의 38%와 16%까지 각각 감소시켰으며, 두 점착방지막 모두 폴리머 필름의 표면 손상을 효과적으로 방지하였다. 점착력 감소 효과를 고려해 보면  $F_{13}$ -OTS로부터 유도된 점착방지막의 분리 성능이 좀 더 좋은 것으로 나타났다. 끝으로  $F_{13}$ -OTS로부터 유도된 점착방지막에 대한 mr-I 7020 폴리머 필름과 mr-I 8020 폴리머 필름의 점착특성이 유사한 것으로 나타났다.

#### 후 기

본 연구는 21세기 프론티어연구개발 사업인 나노메카트로닉스기술개발사업단의 연구비 지원(M102KN-010009-06K1401-00911) 및 2005년도 두뇌한국21사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

1. S. Y. Chou, P. R. Krauss and P. J. Renstrom, "Imprint of sub-25 nm vias and trenches in polymers," *Appl. Phys. Lett.*, Vol.67, No.21, pp.3114-3116, 1995.
2. M. D. Austin, H. X. Ge, W. Wu, M. T. Li, Z. N. Yu, D. Wasserman, S. A. Lyon and S. Y. Chou, "Fabrication of 5 nm linewidth and 14 nm pitch features by nanoimprint lithography," *Appl. Phys. Lett.*, Vol.84, No.26, pp.5299-5301, 2004.
3. L. J. Guo, "Recent progress in nanoimprint technology and its applications," *J. Phys. D : Appl. Phys.*, Vol.37, pp.R123-R141, 2004.
4. D. S. Macintyre, Y. Chen, D. Gourlay, E. Boyd, D. Moran, X. Cao, K. Elgaid, C. R. Stanley, I. Thayne and S. Thoms, "Nanoimprint lithography process optimization for the fabrication of high electron mobility transistors," *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol.21, No.6, pp.2783-2787, 2003.
5. W. Zhang and S. Y. Chou, "Fabrication of 60-nm transistors on 4-in. wafer using nanoimprint at all lithography levels," *Appl. Phys. Lett.*, Vol.83, No.8, pp.1632-1634, 2003.
6. P. D. Ye, G. D. Wilk, E. E. Tois and J. J. Wang, "Formation and characterization of nanometer scale metal-oxide-semiconductor structures on GaAs using low-temperature atomic layer deposition," *Appl. Phys. Lett.*, Vol.87, No.1, pp.13501-13503, 2005.
7. I. Puscasu, G. Boreman, R. C. Tiberio, D. Spencer and R. R. Krchnavek, "Comparison of infrared frequency selective surfaces fabricated by direct-write electron-beam and bilayer nanoimprint lithographies," *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol.18, No.6, pp.3578-3581, 2000.
8. S. W. Ahn, K. D. Lee, D. H. Kim and S. S. Lee, "Polymeric wavelength filter based on a Bragg grating using nanoimprint technique," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol.17, No.10, pp.2122-2124, 2005.
9. E. M. Arakcheeva, E. M. Tanklevskaya, S. I. Nestorov, M. V. Maksimov, S. A. Gurevich, J. Seekamp, and C. M. S. Torres, "Fabrication of semiconductor- and polymer-based photonic crystals using nanoimprint lithography," *Tech. Phys.*, Vol.50, No.8, pp.1043-1047, 2005.
10. X. Cheng, Y. T. Hong, J. Kanicki and L. J. Guo, "High-resolution organic polymer light-emitting pixels fabricated by imprinting technique," *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol.20, No.6, pp.2877-2880, 2002.
11. P. C. Kao, S. Y. Chu, T. Y. Chen, C. Y. Zhan, F. C. Hong, C. Y. Chang, L. C. Hsu, W. C. Liao and M. H. Hon, "Fabrication of large-scaled organic light emitting devices on the flexible substrates using low-pressure imprinting lithography," *Elec. Dev. IEEE Transactions*, Vol.52, No.8 pp.1722-1726, 2005.
12. S. W. Ahn, K. D. Lee, J. S. Kim, S. H. Kim, J. D. Park, S. H. Lee and P. W. Yoon, "Fabrication of a 50 nm half-pitch wire grid polarizer using nanoimprint

- lithography," *Nanotechnology*, Vol.16, No.9, pp.1874-1877, 2005.
13. T. Ohtake, K. I. Nakamatsu, S. Matsui, H. Tabata and T. Kawai, "DNA nanopatterning with self-organization by using nanoimprint," *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol.22, No.6, pp.3275-3278, 2004.
  14. R. Bunk, P. Carlberg, A. Månsson, I. A. Nicholls, P. Omling, M. Sundberg, S. Tågerud and L. Montelius, "Guiding Molecular Motors with Nano-Imprinted Structures," *Jap. J. Appl. Phys. Part 1*, Vol.44, No.5A, pp.3337-3340, 2005.
  15. Y. Hirai, S. Yoshida and N. Takagi, "Defect analysis in thermal nanoimprint lithography," *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol.21, No.6, pp.2765-2770, 2003.
  16. Y. Hirai, S. Yoshida, N. Takagi, Y. Tanaka, H. Yabe, K. Sasaki, H. Sumitani and K. Yamamoto, "High Aspect Pattern Fabrication by Nano Imprint Lithography Using Fine Diamond Mold," *Jap. J. Appl. Phys. Part 1*, Vol.42, pp.3863-3866, 2003.
  17. R. W. Jaszewski, H. Schiff, P. Gröning and G. Margaritondo, "Properties of thin anti-adhesive films used for the replication of microstructures in polymers," *Microelectron. Eng.*, Vol.45, No.1-4, pp.381-384, 1997.
  18. M. Beck, M. Graczyk, I. Maximov, E. L. Sarwe, T. G. I. Ling, M. Keil and L. Montelius, "Improving stamps for 10 nm level wafer scale nanoimprint lithography," *Microelectron. Eng.*, Vol.61-62, pp.441-448, 2002.
  19. J. K. Chen, F. H. Ko, K. F. Hsieh, C. T. Chou and F. C. Chang, "Effect of fluoroalkyl substituents on the reactions of alkylchlorosilanes with mold surfaces for nanoimprint lithography," *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol.22, No.6, pp.3233-3241, 2004.
  20. S. G. Park, H. Schiff, C. Padeste, B. Schnyder, R. Kötz and J. Gobrecht, "Anti-adhesive layers on nickel stamps for nanoimprint lithography," *Microelectron. Eng.*, Vol.73-74, pp.196-201, 2004.
  21. H. Schiff, S. Saxer, S. G. Park, C. Padeste, U. Pielele and J. Gobrecht, "Controlled co-evaporation of silanes for nanoimprint stamps," *Nanotechnology*, Vol.16, pp.S171-S175, 2005.
  22. J. Tallal, M. Gordon, K. Berton, A. L. Charley and D. Peyrade, "AFM characterization of anti-sticking layers used in nanoimprint," *Microelectron. Eng.*, Vol.83, pp.851-854, 2006.
  23. J. Taniguchi, T. Kawasaki, Y. Tokano, Y. Kogo, I. Miyamoto, M. Komuro, H. Hiroshima, N. Sakai and K. Tada, "Measurement of Adhesive Force Between Mold and Photocurable Resin in Imprint Technology," *Jap. J. Appl. Phys. Part 1*, Vol.41, pp.4194-4197, 2002.
  24. N. Sakai, J. Taniguchi, K. Kawaguchi, M. Ohtaguchi and T. Hirasawa, "Investigation of application availability of UV-NIL by using several types of photo-curable resin," *J. Photopolym. Sci. Technol.*, Vol.18, No.4, pp.531-536, 2005.
  25. A. Ulman, "Formation and structure of self-assembled monolayers," *Chem. Rev.*, Vol.96 pp.1533-1554, 1996.
  26. F. Reuther, "Advanced polymers and resists-A key to the development of nanoimprint lithography," *J. Photopolym. Sci. Technol.*, Vol.18, No.4, pp.525-530, 2005.
  27. L. J. Heyderman, H. Schiff, C. David, J. Gobrecht and T. Schweizer, "Flow behaviour of thin polymer films used for hot embossing lithography," *Microelectron. Engineering*, Vol.54, pp.229-245, 2000.