

## 나노몰드용 스탬퍼제작을 위한 thermal embossing 공정에 관한 연구

김태완, 김동학\*

순천향대학교 신소재화학공학부

(dhkim@sch.ac.kr\*)

## A study on thermal embossing method for fabrication of nano-pattern stamper

Tae Wan Kim, Dong-Hak Kim\*

Division of Material and Chemical Engineering Soonchunhyang University

(dhkim@sch.ac.kr\*)

## 1. 서 론

미세한 구조물을 만들 수 있는 능력은 현대과학의 기술에서 핵심적인 능력이 된다. 현재 포토리소그래피를 이용하여 100 nm 보다 크기가 작은 형상을 만드는 데에는 명백한 기술적인 문제가 존재하기 때문에 미소구조물 제작을 위해서는 새로운 방법을 생각해 보아야 한다. 고품질의 나노구조물을 제조하기 위해 소프트 리소그래피라는 미소 구조물 제작기술이 실험되고 있다. 소프트 리소그래피의 종류에는 나노각인 리소그래피법(nanoimprint lithography)[1,2], 연성 리소그래피법(soft lithography)[3-4], 모세관력 리소그래피법(capillary lithography)[5]이나 연성 성형법(soft molding)[6] 등과 같은 방법들이 제시되고 있다. 표면에 부조구조를 가지는 엘라스토머 스탬퍼나 몰드는 소프트 리소그래피의 핵심적인 구성 요소이다. 보통 표면에 부조 패턴 구조를 가지는 master에 엘라스토머 액체상태인 프리폴리머(prepolymer)를 주조하여 만들어 진다. 대부분의 실험에서 사용되는 엘라스토머로는 PDMS(Polydimethylsiloxane), Polyurethane, Polyimide, 가교반응된 Navalac 수지 등이 있다[6,7]. PDMS의 몇 가지 성질은 소프트 리소그래피에서 고품질의 패턴과 구조물을 만드는데 유용하다. 첫 번째로 PDMS는 엘라스토머이므로 기층 표면에 상대적으로 넓은 범위에 걸쳐 흡착된다. 탄성력은 복잡한 미세구조나 부서지기 쉬운 구조물로부터 쉽게 분리가 가능하다. 두 번째 특징은 계면의 자유에너지가  $21.6 \times 10^{-3} \text{ Jm}^{-2}$ 로 매우 낮아 화학적으로 불활성인 표면을 생성한다. 주조된 폴리머는 비가역적으로 응착되지 않는다. 이러한 우수한 특성 때문에 LOC(Lab-on-a-chip)등의 다양한 용도로 사용이 가능하다. 또한 LOC의 제작에 있어서 가장 중요한 점은 대량생산을 위해서는 저가의 공정 방법이 우선되어야 한다. 이러한 관점에서는 기존에 많이 사용되었던 실리콘이나 유리를 가공하는 방법은 가공 단가나 가공 방법에 있어서 한계를 갖게 되며, 이런 이유로 저가의 일회용 사용이 가능한 폴리머계열의 플라스틱을 재질로 하는 LOC에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. embossing은 액상의 폴리머 물질의 미소구조물을 imprinting 시키는 비용이 적게 들고 대량생산이 용이한 방법으로 유망한 기술이다. 비록 저가의 비용으로 빠르게 원하는 형상을 만들어 낼 수는 있지만 표면 장력이나 표면 특성 등이 기존의 실리콘이나 유리와의 많이 다르기 때문에 이에 대한 연구 역시 함께 진행되고 있다. 이는 기계가공이나 반도체 가공으로 제작된 몰드에 액상의 폴리머를 부어 진공 챔버에 두어 폴리머 내의 기포를 제거하고 미세 구조물에 폴리머가 스며들 수 있도록 한다. 이를 고온의 오븐을 이용하여 고형화 시킨 후 master로부터 PDMS 막을 떼어내는 방식으로 이루어진다. 이러한 embossing 방법에는 열을 이용한 thermal embossing 방식과 UV를 이용한 UV embossing

방식이 있다. UV embossing의 경우 spin coater와 Aligner 및 점도가 높은 PR이 필요할 뿐만 아니라 stamper의 제작을 위해서는 몰드와 seed layer를 연결하기 위한 건식 식각 공정이 필요하게 된다. 하지만 thermal embossing의 경우 PDMS 표면위에 바로 seed layer를 증착함으로써 공정의 단순화를 이룰 수 있는 장점이 있다

본 연구에서는 액상 PDMS를 이용한 thermal embossing 방식으로 100-500 nm 크기의 나노패턴이 있는 PDMS 몰드를 제작하여 전사된 패턴과 master의 패턴 형상을 비교 관찰하였다. PDMS 몰드는 electro forming 공정을 거쳐 사출성형에 이용되는 스탬퍼로 사용할 목적으로 제작하였다.

## 2. 실험

나노패턴을 갖는 PDMS (polydimethylsiloxane) 몰드제작을 위해 vacuum drying oven (jisico사, j-DV02)를 이용했다. E-beam evaporator system(삼한진공, SHC-350-CR100)으로 PDMS의 표면에 Au층을 증착하였다. 제작된 PDMS 몰드와 quartz의 형상은 광학현미경과 FE-SEM(JEOL, JSZM6700F)으로 표면을 관찰했다.

Thermal embossing 공정을 위하여 사용된 master는 e-beam lithography를 이용하여 quartz 기판위에 Cr을 patterning 하였으며 패턴 높이는 130nm이다. 나노 패턴의 크기는 100에서 500 nm이며 형상은 dot와 line의 positive 형태이다. Fig. 1은 나노 패턴을 갖는 master를 광학현미경으로 관찰한 표면을 나타냈다.

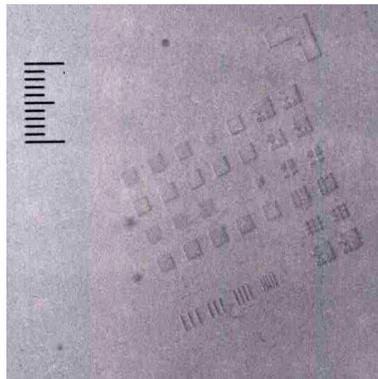


Fig. 1. Quartz master의 광학현미경 이미지 (X 100)

나노 패턴 전사를 위하여 사용된 PDMS는 Dow corning사의 DC 184 A liquid silicon과 경화를 위한 DC 184 B이다. DC 184 A와 B는 9:1의 비율로 균일하게 혼합하였다. 액상 PDMS의 기포를 제거하기 위해 진공챔버( $10^{-2}$  torr)를 사용하였다. 나노패턴이 모두 액상 PDMS에 전사되도록 기포를 제거한 후 dry oven에서 30분간 70°C로 고형화 시킨 후 master와 분리시켰다. thermal embossing이 끝난 후 electro forming을 위해 e-beam evaporator를 이용하여 seed layer를 증착하였다. 증착에 사용된 재료는 electro forming의 주재료인 Ni과 Au layer가 몰드에 잘 접촉이 되도록 첫 번째 adhesion layer로 Ni-Cr layer를 사용했다. Ni-Cr은 Ni와 Cr의 비율이 8:2이며 면저항을 고려하여 Au layer가 10% 정도인 10Å을 증착했고, Au layer는 100Å를 증착했다. Four point probe로 측정된 면저항은 5 Ω이었다. Deposit rate를 알기 위해 오차가  $\pm 3$  Ω인 thickness 모니터를 사용했다. 패턴 자체의 높이가 130 nm이기 때문에 forming을 위한 Au layer는 10 nm로 증착하였다. Fig. 2는 PDMS 몰드를 제작하기 위한 공정도를 보여 주고 있다. Fig. 2-3은 PDMS 몰드를 제작하는 공정도와 제작 순서를 나타냈다.

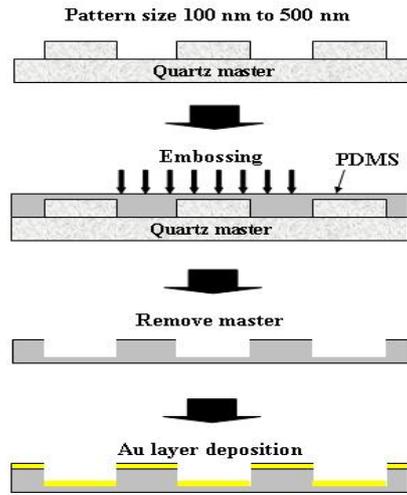


Fig. 2. Thermal embossing 공정도

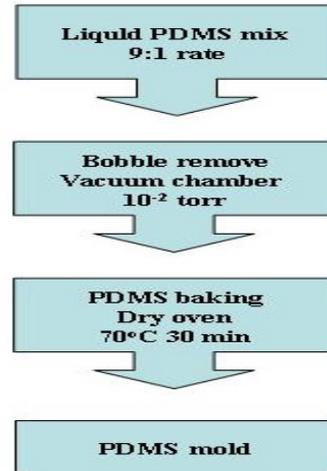
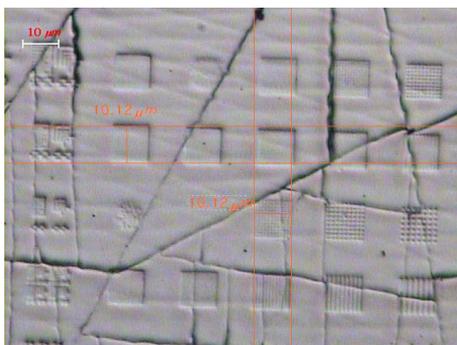


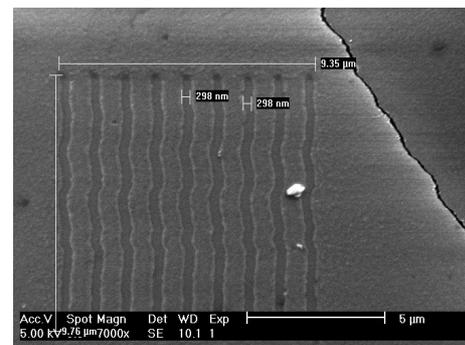
Fig 3. PDMS mold 제작 순서도

### 3. 결과 및 토론

Fig. 4-5는 thermal embossing으로 제작된 PDMS 몰드를 Micro scope와 FE-SEM을 이용하여 관찰한 결과를 나타냈다. 패턴의 형상은 100에서 500 nm까지의 선폭을 갖는 line과 dot이며, master와 반대인 negative 형상으로 나노패턴의 전사가 잘 이루어졌음을 보여준다. Fig. 4에서 (a)는 master의 패턴들이 균일하게 PDMS 몰드에 전사되었고, line과 dot 형상의 한 set의 크기가 10.12  $\mu\text{m}$ 이다. (b)는 300 nm 폭을 갖는 라인을 FE-SEM으로 관찰한 결과이다. 패턴의 폭이 298 nm로 형성되었고 오차는 2 nm 이다.



(a) PDMS mold ( $\times 100$ )



(b) 300 nm line 형상 ( $\times 7000$ )

Fig. 4. PDMS mold의 광학현미경 이미지와 FE-SEM 이미지

Fig. 5에서 (a)는 400 nm 길이의 dot 형상을 FE-SEM으로 관찰한 결과이며 측정된 패턴은 427과 418 nm의 길이를 나타낸다. line 형태의 패턴보다 오차가 큰 이유는 embossing 시 발생한 기포의 영향과 quartz master 자체가 오염되거나 훼손에 의해서이다. (b)는 기존의 line과 dot로 이루어진 단순한 패턴 대신 나노 단위의 임의의 형상을 embossing한 표면을 FE-SEM으로 관찰한 결과이다. 패턴의 전사가 비교적 잘 이루어졌음을 볼 수 있다.

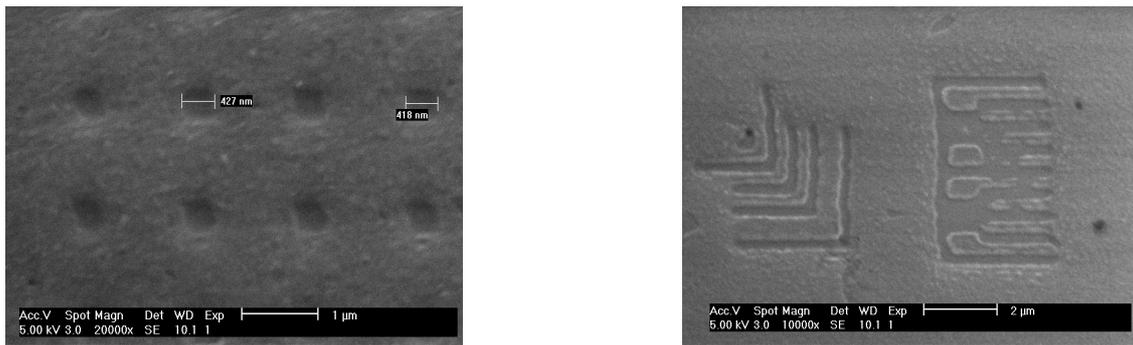
(a) 400 nm dot 형상( $\times 20000$ )(b) 임의형상( $\times 10000$ )

Fig. 5. PDMS mold의 FE-SEM 이미지

#### 4. 결론

Thermal embossing 공정으로 제작된 나노패턴 몰드는 다양한 선폭과 높이를 가지고 있으며, 기존의 복잡한 공정 없이 간단한 공정으로 제작이 가능함을 보여 주었다. PDMS 몰드에 전사된 패턴은 형태와 용도에 따라서 전극이나 센서, 히터 등의 Lab On a Chip이나 Bio-MEMS에 이용될 수 있다. 또한 electro forming 공정을 이용해 stamper로 제작될 경우 사출 성형을 이용한 제품의 양산화 범위까지도 사용 될 수 있어 적용범위는 여러 분야에서 사용이 가능한 유용한 몰드이다.

#### 감사의 글

본 연구는 나노메카트로닉스기술개발사업단특정연구개발사업(과제번호: M102KN010001-02K1401-02010)지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 5. 참고문헌

- [1] Chou, S. Y., Krauss, P.R. and Renstrom, P. J., "Imprint of sub-25nm vias and Trenches in Polymers." Appl. Phys. Lett., **67**(21), 3114-3116(1995)
- [2] Chou, S. Y., Krauss, P.R. and Renstrom, P. J., "Imprint Lithography with 25-Nanometer Resolution," Science, **272**(5258), 85-87(1996)
- [3] Xia Y. N. and Whitesides, G. M., "Soft Lithography," Annu. Rev. Mater. Sci., **28**, 153-184(1998)
- [4] Xia Y. N., Rogers, J. A., Paul, K. E. and Whitesides, G. M., "Unconventional Methods for Fabricating and Patterning Nanostructures," chem. Rev., **99**(7), 1823-1848(1999)
- [5] Xia Y. N. and Whitesides, G. M., "Soft Lithography," Angew. Chem. Int. ED., **37**(5), 550-575(1998)
- [6] Suh, K. Y., Kim, Y. S. and Lee, H. H., "Capillary Force Lithography," Adv. Mater., **13**(18) 1386-1389(2001)
- [7] Kim, Y. S., Suh K. Y. and Lee, H. H., "Fabrication of Three-dimensional Microstructures by Soft Molding," Appl. Phys. Lett., **79**(14), 2285-2287(2001)