한국산학기술학회논문지
Vol. 5, No. 3, pp. 223-226, 2004

Thermal embossing 공정을 이용한 PDMS mold 제작에 관한 연구

김동학 · 유홍진 · 김창교* · 장석원* · 김태완**

A study on PDMS mold fabrication using thermal embossing method

Dong-Hak Kim, Hong Jin Yoo, Chang Koy Kim*, S. W. Jang* and Tae Wan Kim**

요 약 나노 패턴을 갖는 미세 구조물을 낮은 비용으로 생산하기 위해서는 플라스틱 재료를 이용하는 것이 필수적이고, 대량생산이 가능한 가공방법으로 사출성형 공정기술이 유망하다. 본 연구에서는 e-beam 리소그라피로 제작된 석영원판 내의 100-500 nm 크기의 선과 점 형상을 간단한 thermal embossing 공정을 이용하여 액상 PDMS를 고형화 시킨 후에 원판과 분리시켜 PDMS 몰드를 제작하였다. 실험결과, 원판에 있는 나노 크기의 다양한 패턴들은 PDMS 몰드에 균일하게 전사되었고, 이 몰드는 사출성형용 스탬퍼 제작에 유용하게 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract Injection molding using plastic materials was expected to mass production of structure with nano pattern for low cost phase. The PDMS mold was produced easily and uniformly by using thermal embossing. Quartz master for embossing method was made using electron beam lithography it had 100-500 nm size of line and dot type. The PDMS mold was produced after a brief hardening process and the master removal. The results show that various patterns are successfully fabricated the nano scale.. The replicated mold would be useful a stamper fabrication for injection molding.

Key Words : thermal embossing, PDMS mold, nano pattern

1. 서 론

미세한 구조물을 만들 수 있는 능력은 현대과학의 기술에서 핵심적인 능력이 된다. 현재 포토리소그라피를 이용하여 100 nm보다 크기가 작은 형상을 만드는 데에는 명백한 기술적인 문제가 존재하기 때문에 미소구조물 제작을 위해서는 새로운 방법을 생각해 보아야 한다. 고품질의 나노구조물을 제조하기 위해 소프트 리소그라피라는 미소 구조물 제작기술이 실험되고 있다. 소프트 리소그라피의 종류에는 나노각인 리소그라피법(nano imprint lithography)[1,2], 연성 리소그라피법(soft lithography)[3-4], 모세관력 리소그라피법(capillary lithography)[5]이나 연성 성형법(soft molding)[6] 등과 같은 방법들이 제시되고 있다. 표면에 부조구조를 가지는 엘라스토머 스탬프나 몰드는 소프트 리소그라피의 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. PDMS의 몇 가지 성질은 소프트 리소그라피에서 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 21.6×10^{-3} Jm^{-2}로 매우 낮아 화학적으로 불활성인 표면을 생성한다. 주조된 폴리머는 비가역적으로 응착되지 않는다[6,7]. 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 폴리

순천향대학교 신소재화학공학부
*정보기술공학부
**신가공기술혁신센터

머계열의 플라스틱을 재질로 하는 LOC에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. embossing은 액상의 폴리머 물질의 미소구조물을 임프린팅 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 유리와 많이 다르기 때문에 이에 대한 연구 역시 함께 진행되고 있다. 이는 기계가공이나 반도체 가공으로 제작된 몰드에 액상의 폴리머를 부어 진공건조기에 두어 폴리머 내의 기포를 제거하고 미세 구조물에 폴리머가 스며들 수 있도록 한다. 이를 고온의 오븐을 이용하여 고형화 시킨 후 원판으로부터 PDMS 막을 떼어내는 방식으로 이루어진다. 이러한 embossing 방법에는 열을 이용한 thermal embossing 방식과 UV를 이용한 UV embossing 방식이 있다. UV embossing의 경우 스핀코터와 Aligner 및 점도가 높은 PR이 필요할 뿐만 아니라 스탬퍼 제작을 위해서는 몰드와 seed 층을 연결하기위한 건식 식각 공정이 필요하게 된다. 하지만 thermal embossing 의 경우 PDMS 표면위에 바로 seed 층을 증착함으로서 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 원판의 패턴 형상을 비교 관찰하였다. PDMS 몰드는 전기도금 공정을 거쳐 사출성형에 이용되는 스탬퍼로 사용할 목적으로 제작하였다.

2. 실 험

나노패턴을 갖는 PDMS(polydimethylsiloxane) 몰드 제작을 위해 진공건조기(jisico사, j-DV02)를 이용했다. E-beam 열증착기(삼한진공, SHC-350-CR100)로 PDMS의 표면에 Au 층을 증착하였다. 제작된 PDMS 몰드와 석영의 형상은 광학현미경과 Field Emission Scanning Electron Microscope(JEOL, JSZM6700F)으로 표면을 관찰했다.

Thermal embossing 공정을 위하여 사용된 원판은 e-beam 리소그라피를 이용하여 석영 기판위에 Cr를 패터닝 하였으며 패턴 높이는 130 nm이다. 나노 패턴의 크기는 100에서 500 nm이며 형상은 점과 선의 양각형태이다. Fig. 1은 나노 패턴을 갖는 원판을 광학현미경으로 관찰한 표면을 나타냈다.

나노 패턴 전사를 위하여 사용된 액상 PDMS는 Dow corning사의 DC 184 A 액상실리콘과 경화를 위한 DC 184 B이다. DC 184 A와 B는 9 : 1의 비율로

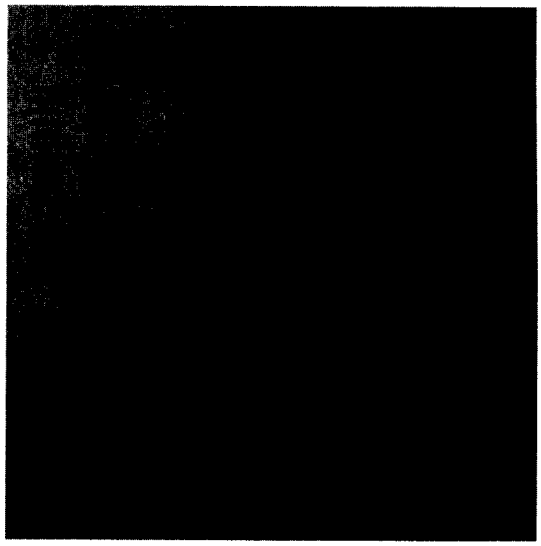

Fig. 1. 석영 원판의 광학현미경 이미지 (×100)

균일하게 혼합하였다. 액상 PDMS의 기포를 제거하기 위해 진공건조기(10^{-2} torr)를 사용하였다. 나노패턴이 모두 액상 PDMS에 전사되도록 기포를 제거한 후 진공건조기에서 30분간 70°C로 고형화 시킨 후 원판과 분리시켰다. thermal embossing이 끝난 후 전기도금을 위해 e-beam 열증착기를 이용하여 seed 층을 증착하였다. 증착에 사용된 재료는 전기도금의 주재료인 Ni과 Au 층과 몰드에 잘 접착이 되도록 첫 번째 접착 층으로는 Ni-Cr 층을 사용했다. Ni-Cr은 Ni와 Cr의 비율이 8 : 2 이며 면저항을 고려하여 Au 층이 10% 정도인 10Å을 증착했고, Au 층은 100Å를 증착했다. 전류전압측정기로 측정된 면저항은 5 Ω 이었다. Deposit rate를 알기 위해 오차가 ± 3 Ω 인 thickness 모니터를 사용했다. 패턴 자체의 높이가 130 nm이기 때문에 도금을 위한 Au 층은 10 nm로 증착하였다. Fig. 2는 PDMS 몰드를 제작하기 위한 공정도를 보여 주고 있다. Fig. 2-3은 PDMS 몰드를 제작하는 공정도와 제작 순서를 나타냈다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 4~7은 thermal embossing으로 제작된 PDMS 몰드를 Micro scope와 Field Emission Scanning Electron Microscope(FE-SEM)을 이용하여 관찰한 결과를 나타냈다. 패턴의 형상은 100에서 500 nm까지의 선폭을 갖는 line과 dot이며, master와 반대인 negative 형상으로 나노패턴의 전사가 잘 이루어졌음을 보여준다. Fig. 4는 원판의 패턴들이 균일하게 PDMS 몰드에 전사되었

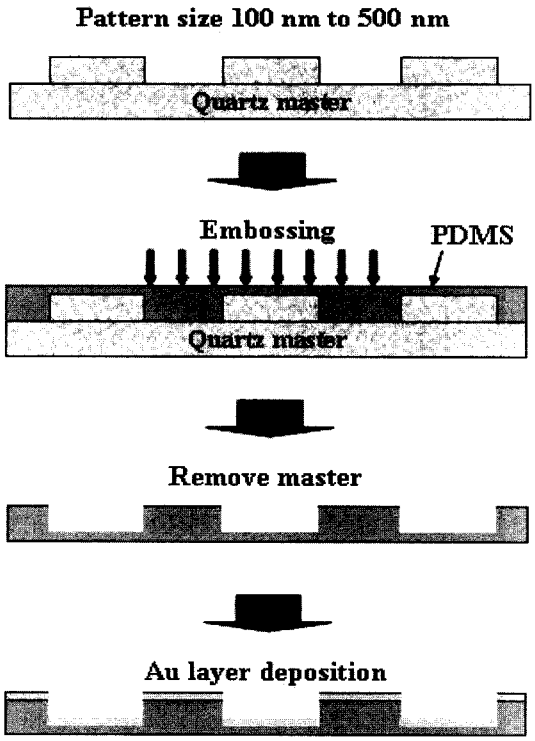

Fig. 2. Thermal embossing 공정도

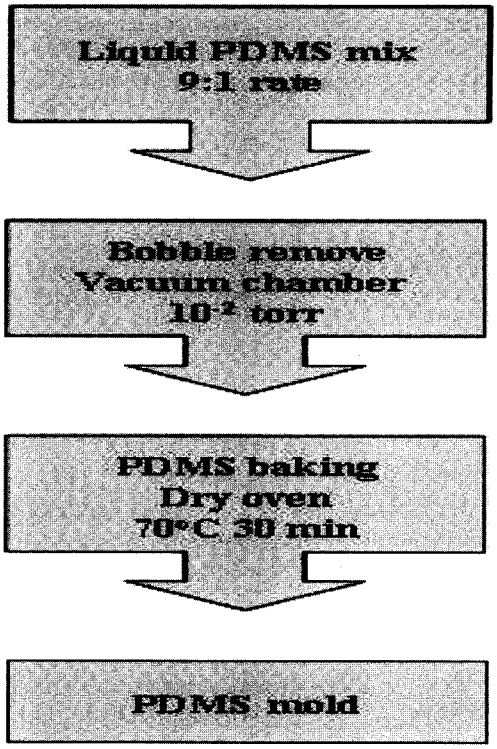

Fig. 3. PDMS 몰드 제작 순서도

음을 보여준다. 선과 점 형상의 한 세트의 크기가 10.12 μm로 같음을 나타낸다. Fig. 5는 300 nm 폭을 갖는 선을 FE-SEM으로 관찰한 결과이다. 패턴의 폭이 298 nm로 형성되었고 오차는 2 nm 이다. Fig. 6은 400 nm 길이의 dot 형상을 FE-SEM으로 관찰한 결과이다. 측정된 패턴은 427과 418 nm의 길이를 나타낸다. 선 형태의 패턴보다 오차가 큰 이유는 embossing 시 발생한 기포의 영향과 석영 원판 자체의 오염이나 훼손에 의해서이다. Fig. 7은 기존의 line과 dot로 이루어진 단순한 패턴 대신 나노 단위의 임의 형상을 embossing한 표면을 FE-SEM으로 관찰한 결과이다. 패턴의 전사가 비교적 잘 이루어졌음을 볼 수 있다.

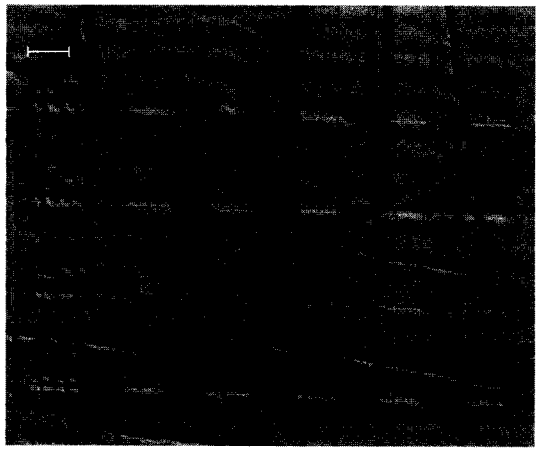

Fig. 4. PDMS 몰드의 광학현미경 이미지(×100)

4. 결 론

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

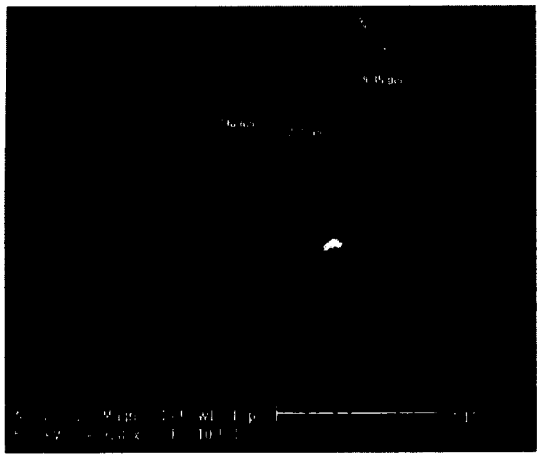

Fig. 5. 300 nm 선 형상의 FE-SEM 이미지(×7000)

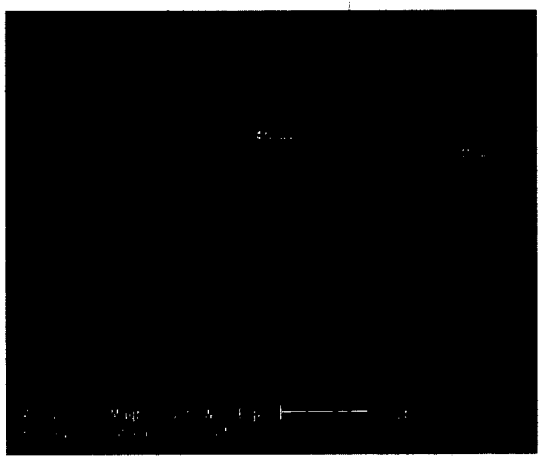

Fig. 6. 400 nm 점 형상의 FE-SEM 이미지(×20000)

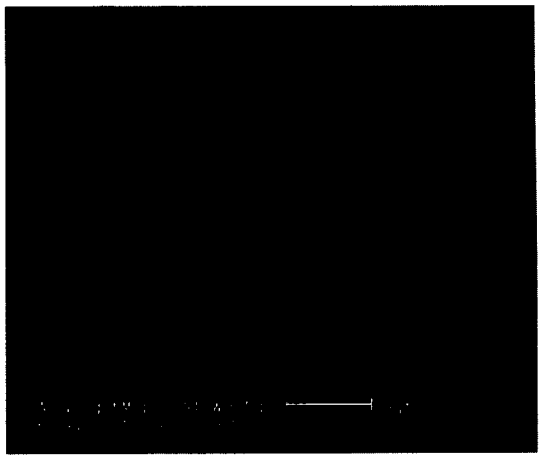

Fig. 7. 임의형상의 FE-SEM 이미지(×10000)

감사의 글

본 연구는 과학기술부 한국과학재단 지정 순천향대학교 차세대BIT무선부품연구센터(과제번호 : R12-2002-052-04005-0)의 지원에 의한 것입니다.

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), pp. 3114-3116, 1995.

[2] Chou, S. Y. Krauss, P.R. and Renstrom, P. J., "Imprint Lithography with 25-Nanometer Resolution," Science, 272(5258), pp. 85-87, 1996.

[3] Xia Y. N. and Whitesides, G. M., "Soft Lithography," Annu. Rev. Mater. Sci., 28, pp. 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), pp. 1823-1848, 1999.

[5] Xia Y. N. and Whitesides, G. M., "Soft Lithography," Angew. Chem. Int. ED., 37(5), pp. 550-575, 1998.

[6] Suh, K. Y., Kim, Y. S. and Lee, H. H., "Capillary Force Lithography," Adv. Mater., 13(18) pp. 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), pp. 2285-2287, 2001.