

나노패턴 성형을 위한 금속 나노 스탬퍼 제작

김영규* · 이동철** · 강신일***

Fabrication of metallic nano-stamper to replicate nanoscale patterns

K.Y. Kim, D.C. Lee, S. Kang

Abstract

In this study, we fabricated the master metallic nano-stamper with nano pillar patterns to apply replication processes which is adequate for mass production. Master nano patterns with various hole diameters between 300 nm and 1000 nm was fabricated by e-beam lithography. After the seed layer was deposited on the master nano patterns using e-beam evaporation, the nickel was electroformed. In each step, the shape and surface roughness of their patterns were analyzed using SEM and AFM.

Key Words : E-beam lithography, master nano patterns, master metallic nano-stamper, metallic nano-stamper, seed layer, electroforming

1. 서론

차세대 정보저장매체로 주목받고 있는 패턴드 미디어 (patterned media) 및 blue-ray disc 의 제작 시, 대용량의 정보를 고밀도로 저장시키기 위해 미디어 기판 위에 나노 단위의 패턴이 요구된다. 또한, 광통신 소자인 광결정 광도파로 어레이(photonic crystal wave guide array)의 경우에도 보다 많은 정보를 전달하기 위해서 나노 단위의 패턴을 필요로 한다. 이에 따라, 수십 ~ 수백 나노 단위의 초미세 패턴을 제작하는 기술에 관한 많은 연구가 진행되고 있다.

나노 단위의 패턴을 제작하는 대표적인 기술로는 전자빔 리소그래피 (e-beam lithography) 기술이 있으며, 이를 이용하여 수십 나노 단위의 패턴을 제작한 결과가 보고된 바 있다.⁽¹⁾ 그러나 전자빔 리소그래피는 고가의 장비 필요로 하며, direct writing 방식으로 패턴을 제작하게 되어 많은 공정시간이 소요된다. 이러한 전자빔 리소그래피 기술의 단점을 보완하기 위해 Chou 등은 나노 임프린트 리소그래피 (nano imprint lithography) 기술을 이용한 나노 패턴 제작에 관한 연구를 수행하였다.⁽²⁾ 나노패턴 성형을 위한 스탬퍼는 주로 SiO₂ 및 석영 (quartz) 으로 제작되며, 이는 전자빔 리소그래피 기술을

* 연세대학교 대학원 기계공학과

** 연세대학교 정보저장기기 연구센터

*** 책임저자, 연세대학교 기계공학부

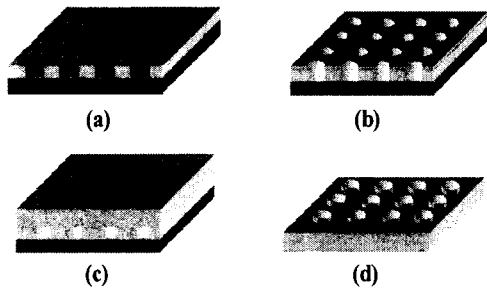


Fig. 1 Fabrication processes of master metallic nano-stamper; (a) master nano patterns by e-beam lithography, (b) deposition of seed layer (c) electroforming, (d) post-processes

이용하여 초기 패턴을 제작하고, lift-off 및 이방성 건식 식각(RIE) 등의 공정을 통해 제작된다.^(3, 4, 5) 또한, Heydermann 등은 기지층(seed layer) 증착, 나노패턴 제작, 전기주조(electroforming), 이방성 건식식각 공정을 조합하여 금속을 소재로 하는 나노패턴 구조물을 제작하였다.⁽⁶⁾ 그러나 이러한 금속을 소재로 하는 나노패턴 제작 공정에서는 패턴 전사 시에 이방성 건식식각을 계속 해서 추가해야 하기 때문에, 나노패턴의 품질이 저하되고 시간 및 비용이 많이 소요되어 양산용으로는 부적합하다.

이에 대한 대안으로, 본 연구에서는 사출성형 또는 압축성형 등에 적용 가능한 금속 나노 스탬퍼를 제작하기 위한 마스터 금속 나노 스탬퍼를 설계 및 제작하였다. 전자빔 리소그래피를 이용하여 마스터 나노패턴을 제작하고, 기지층 증착 및 전기주조를 통해 제작 공정을 단순화함으로써, 양산용으로 적합한 마스터 금속 나노 스탬퍼를 제작하였다. Fig. 1은 본 연구에서 제안한 마스터 금속 나노 스탬퍼의 제작 공정도이다.

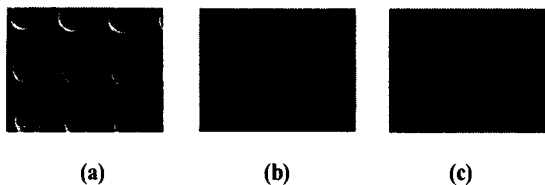


Fig. 2 SEM images of master nano patterns (a) dia. 1000 nm, pitch 2.5 μm , (b) dia. 750 nm, pitch 2 μm , (c) dia. 500 nm, pitch 1.5 μm

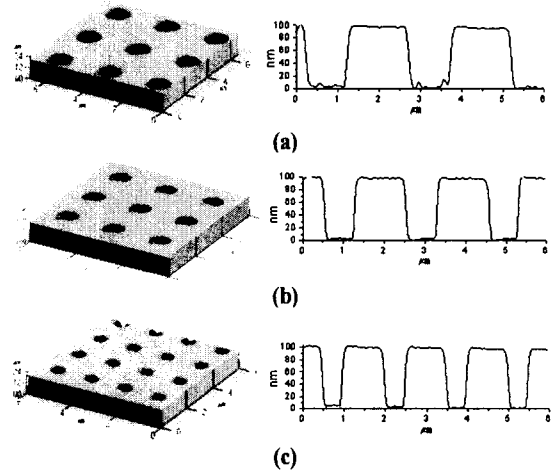


Fig. 3 SEM and AFM images of master nano patterns (a) dia. 1000 nm, pitch 2.5 μm , (b) dia. 750 nm, pitch 2 μm , (c) dia. 500 nm, pitch 1.5 μm

2. 실험방법 및 결과

2.1 마스터 나노 패턴 제작

나노패턴을 갖는 마스터 금속 나노 스탬퍼를 제작하기 위한 첫 번째 공정으로서, 전자빔 리소그래피를 통해 다양한 직경 및 피치의 홀 형상을 갖는 마스터 나노 패턴을 제작하였다. Fig. 2와 3은 본 실험에서 제작한 마스터 나노패턴의 SEM 및 AFM 측정 결과를 보여준다.

2.2 기지층 증착

마스터 나노 패턴 위에 물리적 증착(evaporation) 방식을 통해 기지층을 적층하였다. 기지층은 전기주조 시에 필요한 전도성을 부여하며, 마스터 금속 나노 스탬퍼에서 나노패턴 자체를 형성한다. 기지층의 증착시 마스터의 PR 층과 기지층 간의 상호관계를 고려해야 하며, 이것이 제어되지 않을 경우 전기주조 시에 두 층 간의 박리현상이 발생하게 된다. 이에 따라 증착 공정 조건을 고려하여 다양한 두께의 기지층 증착 실험을 진행하여 최적의 기지층 두께를 얻을 수 있었다. Fig. 4는 마스터 나노 패턴 위에 2000 Å 두께의 니켈 기지층을 증착한 결과를 보여주고 있으며, 이를 통해 니켈 기지층에서도 나노패턴이 형성되어 있는 것을 확인하였다. 또한 니켈 기지층의 나노 패턴은 가장자리 부분이 중앙 부분보다 올라간 형상으로 제작됨을 볼 수 있으며, 이러한 현상은 패턴이 작아짐에 따라 줄어드는 것을 알 수 있었다.

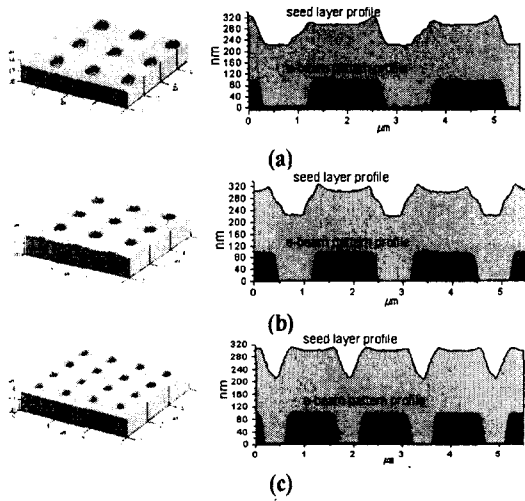


Fig. 4 AFM images of Ni Seed layer on master nano patterns; (a) dia. 1000 nm, pitch 2.5 μm , (b) dia. 750 nm, pitch 2 μm , (c) dia. 500 nm, pitch 1.5 μm

2.3 1세대 마스터 금속 나노 스탬퍼 제작

니켈 전기주조 방식을 통하여 0.5 mm 두께의 니켈 층을 제작하였다. 전기주조는 니켈 설페이트 도금액을 이용하여, 온도 43 ~ 45 $^{\circ}\text{C}$, pH 4 ~ 4.2, 전류밀도 10 ~ 20 mA/cm^2 조건에서 진행하였다. Fig. 5는 제작된 마스터 금속 나노 스탬퍼의 SEM 사진을 보여주며, 전주 공정을 통해 양각의 나노 pillar 패턴이 형성되었음을 볼 수 있었다.

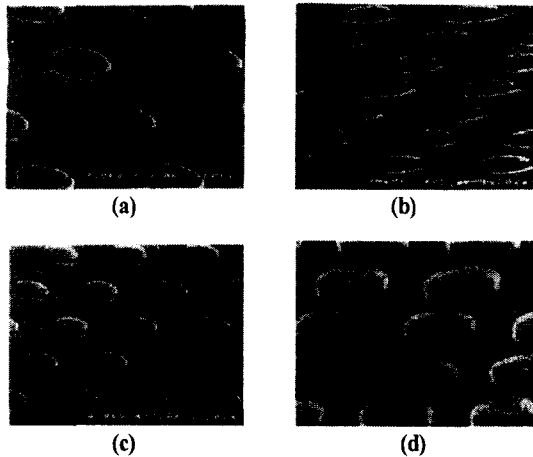


Fig. 5 SEM images of master metallic nano-stamper with pillar patterns; (a) dia. 1100 nm, pitch 2.5 μm , (b) dia. 850 nm, pitch 2 μm , (c) dia. 630 nm, pitch 1.5 μm , (d) dia. 300 nm, pitch 500 nm

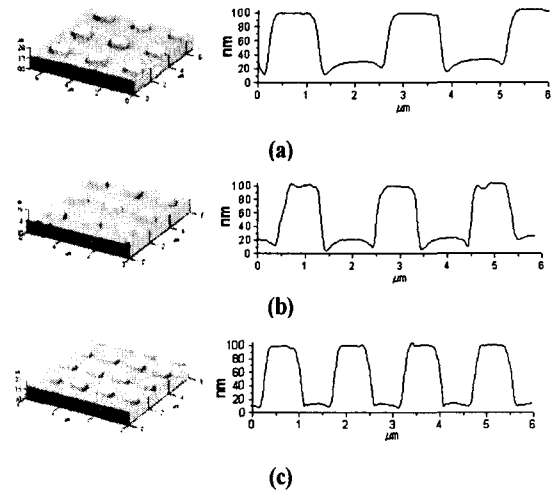


Fig. 6 AFM images of master metallic nano-stamper with pillar patterns; (a) dia. 1100 nm, pitch 2.5 μm , (b) dia. 850 nm, pitch 2 μm , (c) dia. 630 nm, pitch 1.5 μm , (d) dia. 300 nm, pitch 500 nm

최종적으로 제작된 마스터 금속 나노 스탬퍼의 성능을 평가하기 위해, AFM 측정을 통한 패턴의 형상 및 표면 거칠기의 분석을 실시하였다. Fig. 6은 AFM을 통한 마스터 금속 나노 스탬퍼의 패턴 형상 평가 결과를 보여준다. Fig. 6에서와 같이, 전주 공정을 통해 제작된 마스터 나노 스탬퍼가 마스터 나노패턴의 음각 형상을 정밀하게 전사하고 있음을 확인할 수 있었다.

Table 1은 마스터 나노 패턴 및 마스터 나노 스탬퍼의 표면 거칠기를 AFM을 이용해서 측정한 결과를 보여준다. 마스터 나노 패턴과 마스터 나노 스탬퍼의 표면 거칠기가 수십 Å 정도의 경면을 보이고 있으며, 마스터 나노 스탬퍼를 이용한 제작 공정이 나노패턴 성형에 충분히 응용 가능함을 볼 수 있었다.

Table 1 Surface roughness of master nano patterns and master metallic nano-stamper

Surface roughness (Å)		Rms	Ave
Dia. 1000 nm Pitch 2.5 μm	master	33.2	27.1
	stamper	51.5	41.2
Dia. 750 nm Pitch 2 μm	master	29.1	22.0
	stamper	50.9	33.0
Dia. 500 nm Pitch 1.5 μm	master	34.1	27.1
	stamper	43.2	35.5

4. 결 론

본 연구에서는 나노패턴 성형을 위한 마스터 금속 나노 스탬퍼를 제작하였다.

(1) 전자빔 리소그래피를 이용하여 마스터 금속 나노 스탬퍼 제작을 위한 다양한 크기의 홀 형태를 갖는 마스터 나노 패턴을 제작하였다.

(2) 증착 공정을 이용하여 두께 2000 Å의 안정된 니켈 기지층을 증착함으로써, 마스터 패턴 층에 전도성을 부여하고 니켈 나노패턴을 형성하였다.

(3) 니켈 전기주조를 이용하여 마스터 나노 패턴을 전사하는 마스터 금속 나노 스탬퍼를 제작하였으며, 표면 특성 평가 결과 나노패턴 성형 공정에 응용할 수 있었다.

본 연구를 통하여 제작된 마스터 금속 나노 스탬퍼를 이용하여, 금속 나노 스탬퍼를 제작하고 열 및 광 압축 성형과 나노 사출성형 실험이 진행 중에 있다.

후 기

본 연구는 21 세기 프론티어연구개발사업인 나노메카트로닉스기술개발사업단의 연구비 지원(M1-02-KN-01-0001-02-K14-01-006-1-0)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

(1) Fischer, P. B. and Chou, S. Y., 1993, "10 nm electron beam lithography and sub-50 nm overlay using a modified scanning electron microscope", Appl. Phys. Lett., Vol. 62, pp, 2989 ~ 2991.

- (2) Chou, S. Y., Krauss, P. R., and Renstrom, P. J., 1996, "Imprint lithography with 25-nanometer resolution", Science, Vol. 272, pp. 85 ~ 87.
- (3) Lebib, A., Chen, Y., Bourneix, J., Carcenac, F., Cambil, E., Couraud, L., and Launois, H., 1999, "Nanoimprint lithography for a large area pattern replication", Microelectronic Engineering, Vol. 46, pp. 319 ~ 322.
- (4) Hiroshima, H., Komuro, M., Inoue, S., Kasahara, N., Taniguchi, J., and Miyamoto, I., 2001, "Uniformity in patterns imprinted using photo-curable liquid polymer", Microprocesses and Nanotechnology Conference, 2001 International, pp. 102 ~ 103.
- (5) Hirai, Y., Takagi, N., Toyota, H., Harada, S., Yotsuya, T., and Tanaka, Y., 2001, "Nano chamber fabrication on an acrylic plate by direct nano imprint lithography using quartz mold", Microprocesses and Nanotechnology Conference, 2001 International, pp. 104 ~ 105.
- (6) Heyderman, L. J., Schiff, H., David, C., Ketterer, B., Auf der Maur, M., and Gobrecht, J., 2001, "Nanofabrication using hot embossing lithography and electroforming", Microelectronic Engineering, Vol. 57 ~ 58, pp. 375 ~ 380.