

패턴드 미디어를 위한 나노 사출 성형 공정에 관한 연구

이남석¹, 최용¹, 강신일^{1,*}

Replication of Patterned Media Using Nano-injection Molding Process

Namseok Lee, Yong Choi, and Shinill Kang

Abstract

In this paper, we investigated the possibility of replicating patterned media by nano-injection molding process with a metallic nano-stamper. The original nano-master was fabricated by E-beam lithography and ICP etching process. The metallic nano-stamper was fabricated using a nanoimprint lithography and nano-electroforming process. Finally, the nano-patterned substrate was replicated using a nano-injection molding process without additional etching process. The replicated patterns using nano-injection molding process were as small as 50 nm in diameter, 150 nm in pitch, and 50 nm in depth.

Key Words: Metallic nano-stamper, polymeric nano-pattern, nano-injection molding, patterned media

1. 서 론

패턴드 미디어 (patterned media) 의 제작시, 대용량의 정보를 고밀도로 저장시키기 위해서 미디어 기판 위에 나노 단위의 패턴이 요구된다. 패턴드 미디어는 일정한 방향의 자성을 갖는 나노 단위의 패턴을 제작함으로써, 기존의 연속적인 자성 박막을 이용하여 정보를 저장하는 방식이 갖는 초상자성 효과 (superparamagnetic effect) 및 노이즈 (noise) 문제를 해결할 수 있는 차세대 정보 저장매체이다[1]. 패턴드 미디어의 제작을 위해, 전자빔 리소그래피, FIB (Focused Ion Beam) 및 이방성 건식 식각 (Dry etching) 등의 방법을 통해 나노 단위의 자성 도트 패턴을 제작하는 연구가 보고 된 바 있다[2]. 그러나 이와 같이 각각의 자성층을 직접 패터닝하는 방식은 정보저장매체를 제작하기에는 생산

단가 및 제조시간이 많이 소요된다. 이에 나노 임프린트 공정을 사용함으로써 제작 단가 및 공정 시간을 감소시킨 연구가 보고된 바 있다[3,4].

본 연구에서는 양산공정에 적합한 성형 기술로 알려져 있는 사출성형 기술을 응용한 패턴드 미디어의 제작 공정을 제안하였다. 사출 성형 공정은 공정 사이클 타임 (cycle time) 및 공정 비용이 적게 소요되며, 추가적인 에칭 공정이 없는 공정으로 양산 공정에 적합한 공정으로 알려져 있다[5-7]. 전자빔 리소그래피 공정, ICP (Inductive Coupled Plasma) 공정 및 나노 UV 임프린팅 공정을 통해 전기주조 공정을 위한 폴리머 나노 마스터를 제작하였고, 전기주조 공정을 통해 금속 나노 스탬퍼를 제작하였다. 나노 스탬퍼를 이용한 나노 사출 성형공정을 통해 패턴드 미디어에 응용 가능한 폴리머 나노 패턴을 성형하였다. Fig.1 은 본 연구에서 제안한 금속 나노

1. 연세대학교 기계공학부

* 교신저자: E-mail: snlkang@yonsei.ac.kr

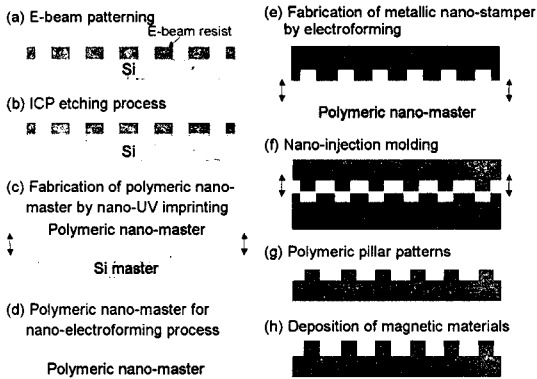


Fig. 1 Fabrication process of patterned media

스탬퍼 및 폴리머 나노 패턴의 제작을 통한 패턴드 미디어 제작 공정의 개략도이다.

2. 실험 방법 및 결과

2.1 나노 마스터의 제작

나노 사출 성형 공정에 있어서 나노 패턴을 지닌 스탬퍼의 제작이 요구되며, 스탬퍼의 표면 품질, 균일도 및 평탄도 등의 특성은 최종 성형품의 품질에 큰 영향을 미친다[8,9]. 음각의 나노 패턴을 지닌 스탬퍼를 제작하기 위해, 양각의 나노 패턴을 갖는 마스터의 제작이 필요하다. 본 연구에서는 전자빔 리소그래피, 건식 식각 공정에 의해 초기 패턴의 반복 사용이 가능한 Si 마스터를 제작하였고, Si 마스터를 이용한 UV 성형 공정에 의해 제작된 폴리머 나노 마스터를 응용하여 스탬퍼를 제작하였다(Fig.1(a)-(e)). 본 연구에서 제안하는 제작 공정은 성형된 폴리머 나노 패턴의 세장비 및 표면 특성을 향상시킬 수 있는 공정으로 사료된다.

전자빔 리소그래피를 응용하여 1 차 나노 패턴을 제작하였다. 나노 사이즈의 패턴 제작을 위해, 적합한 E-beam 레지스트 (E-beam resist) 재료 및 최적의 전자빔 리소그래피 공정 조건 선정을 위한 반복실험을 실시하여, 최적의 전자빔 리소그래피 공정 조건을 선정하였다. 전자빔 리소그래피에 의해 제작된 초기 나노 패턴을 barrier 로 사용하여, ICP 에칭 공정을 통해 Si 마스터를 제작하였다. Fig.2 는 전자빔 리소그래피 및 ICP

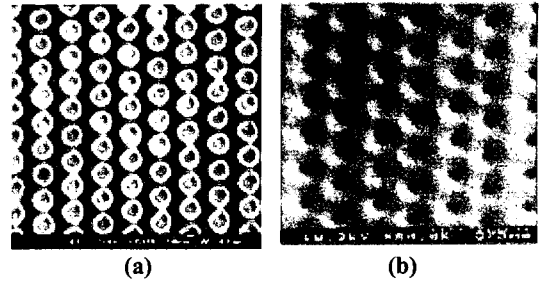


Fig. 2 SEM images of nano-hole patterns with (a) 100 nm and (b) 50 nm diameter on Si nano master by E-beam lithography and ICP etching

에칭 공정을 통해 제작된 Si 나노 마스터의 SEM 사진을 보여준다. Fig.2 에서 보는 바와 같이, 직경 100 nm 및 50 nm 의 크기를 갖는 나노 홀 패턴이 균일하게 제작되었음을 볼 수 있다.

제작된 Si 마스터를 응용하여 나노 UV 임프린트 공정을 통해, 전기주조 공정을 위한 폴리머 나노 마스터를 제작하였다. 노광 시간 및 성형 압력 제어를 위한 반복 실험을 통해, 최적의 나노 UV 임프린트 공정 조건을 선정하였다. Fig.3 은 나노 UV 임프린트 공정을 통해 제작된 폴리머 나노 마스터의 SEM 사진을 보여주고 있다. Fig.3 에서 보는 바와 같이, Si 마스터의 나노 홀 형상의 패턴이 전사되어, 폴리머 나노 마스터 위에 필라 패턴이 균일하게 성형되어 있음을 확인할 수 있다.

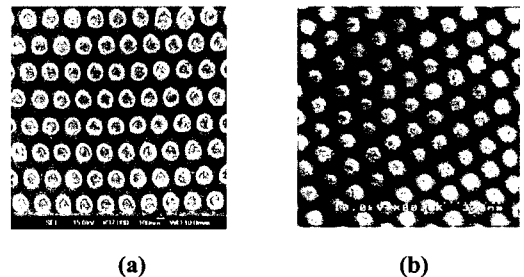


Fig. 3 SEM images of nano-pillar patterns with (a) 100 nm, and (b) 50 nm diameter on polymeric nano master by nano-UV imprint process (Polymeric nano-master, (a) and (b), was generated for electroforming process)

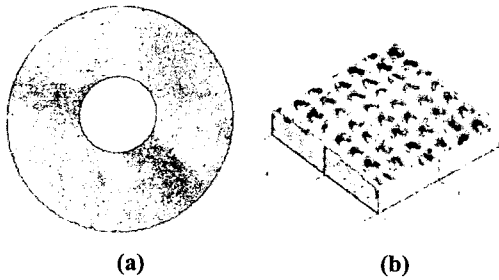


Fig. 4 (a) Picture of nano stamper with a 108 mm diameter, and (b) AFM image of the nano hole patterns on the metallic nano stamper

2.2 나노 스탬퍼의 제작

폴리머 나노 마스터 위에 니켈 기지층 (nickel seed layer) 을 증착한 후, 니켈 전기주조 방식을 통해, 직경 108 mm, 두께 0.295 mm 의 니켈 나노 스탬퍼를 제작하였다. 전기주조 공정은 니켈 설파메이트 (nickel sulfamate) 도금액을 사용하였으며, 온도 50 °C, pH 4.0, 전류 밀도 10 ~20 mA/cm² 의 조건에서 진행하였다. 제작된 금속 나노 스탬퍼의 성능을 측정하기 위하여 SEM 및 AFM 측정을 통한 형상 분석을 실시하였다. Fig.4 는 AFM 을 통해 금속 나노 스탬퍼의 패턴 형성 결과를 보여주고 있으며, 전기주조 공정을 통하여 양각의 나노 홀 패턴이 형성되었음을 볼 수 있었다. Fig.3 및 Fig.4 에서와 같이, 전기주조를 통해 제작된 금속 나노 스탬퍼가 폴리머 마스터의 양각 패턴을 전사하고 있음을 확인하였다.

2.3 나노 사출 성형 공정

패턴드 미디어 제작을 위해, 나노 사출 성형 공정을 통한 나노 성형이 이루어졌으며, 성형 재료로는 폴리 카보네이트 (Polycarbonate) 수지를 사용하였다. Fig.5 는 본 연구에서 사용된 나노 사출성형 시스템을 보여준다. 나노 패턴에 대한 사출 성형 공정에 있어서, 온도 및 압력 조건은 가장 중요한 공정 조건이다. 성형 공정에 있어서 온도 및 압력이 높을 경우, 스탬퍼의 나노 패턴에 대한 전사 특성은 향상되지만, 이형 (demolding) 공정에 있어서, sticking 문제 등이 발생하여 최종 폴리머 성형품의 성능을 저하시킬 수 있다. 반대로, 온도 및 압력이 낮을 경우, 스탬퍼의 나노 패턴에 대한 전사 특성이 저하되어

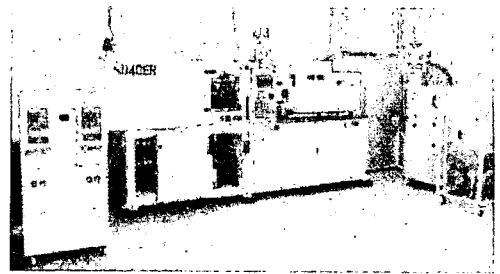


Fig. 5 Nano-injection molding system

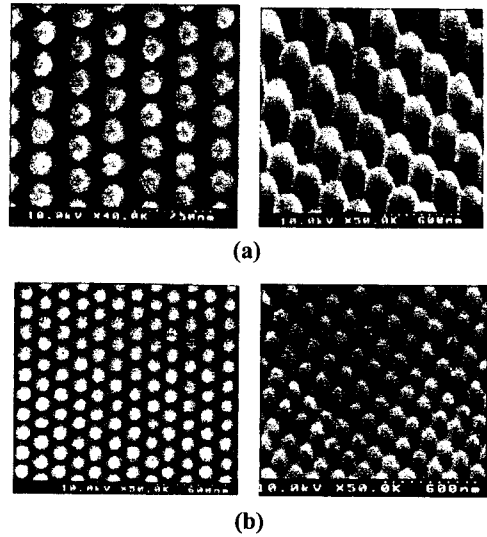


Fig. 6 SEM images of polymeric pillar patterns with (a) 100 nm, and (b) 50 nm diameter replicated by nano-injection molding process

성형된 폴리머 나노 패턴의 성능이 저하되는 문제가 발생한다. 이에 나노 사출 성형 공정을 응용한 나노 패턴 제작시, 최적의 성형 온도 및 압력 조건을 선정하는 과정이 요구된다. 본 연구에서는 최적의 공정 조건을 선정하기 위한 반복 실험을 통해, 금형 온도를 100°C 의 범위로, 충전 압력을 8~40 Kg/cm² 으로 선정하였다. Fig.6 는 반복실험을 통해서 선정된 사출성형 공정 조건에서 제작된 폴리머 나노 패턴의 SEM 사진을 보여 주고 있다. Fig.6 에서 보는 바와 같이, 사출성형 결과 패턴 상부면의 평탄도가 우수하고, 세장비 1 이상의 고세장비 나노 패턴이 균일하게 성형되었음을 확인할 수 있다. 또한, 금속 나노 스탬퍼의 홀 패턴을 전사하여 양각의 필라 패턴이 성형되었음을 확인할 수 있다.

제작된 폴리머 필라 패턴을 패턴드 미디어 제작에 적용하기 위해서, 나노 패턴 위에 균일한 자성 박막의 증착 공정을 통한 독립된 자성 패턴의 제작이 요구된다. 이를 위해, 패턴의 균일도, 패턴의 세장비 및 상부 평탄도의 확보가 중요하며, 본 연구에서 성형된 양각 필라 패턴이 패턴드 미디어에 응용 가능성을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 금속 나노 스탬퍼를 제작하고 나노 사출 성형 공정을 통해 패턴드 미디어를 성형하는 제작 방식을 제시하였다. 전자빔 리소그래피를 이용하여 나노 사이즈의 홀 형태를 갖는 마스터 나노 패턴을 제작하였고, ICP 에칭 공정 및 UV 임프린트 리소그래피 공정을 통해 폴리머 나노 마스터를 제작하였다. 폴리머 나노 마스터 위에 니켈 기지층을 증착하고, 니켈 전기주조를 응용하여 마스터의 양각 나노 패턴을 전사하는 금속 나노 스탬퍼를 제작하였다. 금속 나노 스탬퍼를 사용하여 나노 사출 성형 공정을 통해 제작된 폴리머 나노 패턴이 상부 평탄도 및 세장비가 우수함을 확인할 수 있었다. 사출성형 공정을 통해 제작된 폴리머 나노 패턴은, 패턴드 미디어를 비롯한 차세대 고밀도 정보저장 매체, 디지털 디스플레이 소자, 나노 바이오 디바이스 소자 등에 응용할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 21 세기 프론티어 연구 개발 사업인 나노 메카트로닉스 기술개발사업단의 연구비 지원(M102KN010001-04K1401-00610)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] R. L. White, R. M. H. New, and R. F. W. Pease, 1997, "Patterned media: a viable route to 50 Gbit/in² and up for magnetic recording," IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 33(1), pp. 990-995.
- [2] T. Aoyama, K. Uchiyama, T. Kagotani, K. Hattori, Y. Wada, S. Okawa, H. Hatate, H. Nishio, and I. Sato, 2001, "Fabrication and properties of CoPt patterned media with perpendicular magnetic anisotropy," IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 37(4), pp. 1646-1648.
- [3] S. Y. Chou, P. R. Krauss, and P. J. Renstrom, 1996, "Imprint lithography with 25-nanometer resolution," Science, Vol. 272, pp. 85-87.
- [4] N. Lee, Y. Kim, S. Kang, and J. Hong, 2004, "Fabrication of metallic nano-stamper and replication of nano-patterned substrate for patterned media," Nanotechnology, Vol. 15, issue 8, pp. 901-906.
- [5] 김영규, 강신일, 2003, "나노패턴 성형을 위한 금속 나노 스탬퍼 제작," 한국소성가공학회 춘계학술대회, pp. 481.
- [6] 배재철, 김영민, 김홍민, 강신일, 2004, "단열층을 이용한 광디스크 기판의 서브 마이크론 성형에 대한 수치해석," 한국소성가공학회지, 제 13 권, 제 1 호, pp. 39-44
- [7] 김종성, 강신일, 2000, "광디스크 기판 성형시 발생하는 복굴절의 최소화를 위한 이론적 연구," 한국소성가공학회지, 제 9 권, 제 2 호, pp. 103-111
- [8] N. Lee, Y. Kim, and S. Kang, 2004, "Temperature dependence of anti-adhesion between a stamper with sub-micron patterns and the polymer in nano-moulding processes," J. Phys. D: Appl. Phys. Vol. 37, No. 12, pp. 1624-1629
- [9] S. Moon, N. Lee, and S. Kang, 2003, "Fabrication of a microlens array using micro-compression molding with an electroformed mold insert," Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 13(1), pp. 98-103.