

고밀도 패턴드 미디어 성형 및 자성 도메인 평가에 관한 연구

양정모¹, 이남석¹, 강신일[#]

Nanomolding of High Density Patterned Media and Measurement of Magnetic Domain

J. M. Yang, N. S. Lee, and S. Kang

Abstract

In this paper, the magnetic domain states and recordability of the molded magnetic nanopillars were examined and analyzed by magnetic force microscopy (MFM) measurement. We focused on the some of the technical issues for MFM measurement regarding the lift height and geometry of the MFM tip. The effects of MFM tip shape and lift height on the MFM resolution were analyzed. Finally, we showed that the magnetic film on each molded nanopillars has a single magnetic domain state.

Key Words : Nanomolding (나노 성형), Patterned Media (패턴드 미디어), Magnetic Force Microscopy (MFM), Magnetic Domain (자성 도메인)

1. 서론

패턴드 미디어 (Patterned media) 는 1 Tbits/inch² 이상의 초고밀도 달성을 위한 차세대 대용량 자기 저장매체 방식이다. 패턴드 미디어의 양산을 위해, 저가 나노 단위의 패턴 제작에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다. 최근에는 나노 임프린팅 및 사출성형 등 나노 성형 기술을 통해 제작된 필라 형상의 패턴 상에 자성 물질을 증착하는 방식이, 패턴드 미디어의 저가 양산 기술로서 관심을 받고 있다 [1~3].

성형된 폴리머 패턴의 패턴드 미디어 적용 가능성을 검토하기 위해, 각각의 나노 필라 상에 증착된 자성 박막에 대한 자성 도메인 (Magnetic domain) 측정 및 평가가 요구된다. 다양한 자성 도메인 측정 방식 가운데, Magnetic Force Microscopy (MFM) 방식은 단순하며 저가의 측정 방식이라는 점에서, 자성 나노 구조물의 자성 도

메인 평가에 유리한 측정 방식이다.

하지만, 패턴드 미디어의 고밀도화를 위해, 미디어 상 나노 패턴의 사이즈가 미세화 됨에 따라, 자성 나노 패턴의 평가의 다양한 기술적 한계가 발생된다. MFM 측정을 위한 MFM tip 의 형상 및 tip 의 직경이 나노 단위의 자성 도메인 측정 결과에 미치는 영향이 커진다 [4-5]. 또한, MFM 측정시, MFM tip 과 자성 패턴 간의 거리 (ift-height) 가 MFM 측정 결과에 미치는 영향이 커진다 [6].

본 연구에서는 금속 나노 스탬프를 응용한 나노 성형공정을 통해 Sub-50nm 급 폴리머 필라 패턴을 제작하였다. 폴리머 필라 패턴의 패턴드 미디어로의 적용을 위해, 필라 패턴 상에 Co-Cr-Pt (CCP) 합금 구조를 가진 나노 자성 박막을 증착하였다. 최종적으로, 성형된 50nm 급 필라 패턴의 자성 도메인 특성을 평가하기 위해 MFM 으로 자성 도메인의 특성을 분석하였다. MFM 측정과 관련하여, MFM tip 의 형상 및 MFM tip 의 부상 높

1. 연세대학교 기계공학부

교신저자: 연세대학교 기계공학부,

E-mail: snlkang@yonsei.ac.kr

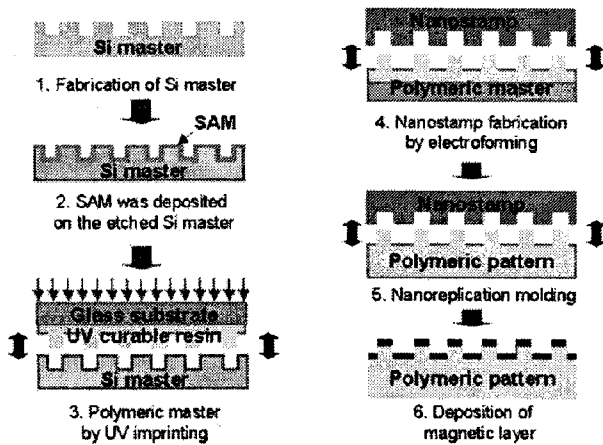


Fig.1 Schematic diagram of our fabrication procedure of pillar patterns and its application to patterned media with a passive heating system

이 (lift-height) 가 MFM 측정 결과에 미치는 영향을 검토하였다. Fig.1은 본 연구에서의 나노 성형 공정을 응용하여 자성 나노 패턴을 제작하는 공정의 개략도를 보여준다.

2. 시편 제작 방법 및 결과

Si 나노 마스터는 전자빔 리소그래피 (Electron beam lithography) 및 건식 식각 (Dry etching) 방식을 응용하여 제작하였다. 전자빔 리소그래피로 제작한 초기 나노 패턴을 barrier로 사용하여, Inductive Coupled Plasma (ICP) 에칭 공정을 통해 Si 나노 마스터를 제작하였다. 제작된 Si 마스터를 이용하여 UV 나노 임프린트 공정을 통해, 전기주조 공정을 위한 폴리머 나노 마스터를 제작하였다. 폴리머 나노 마스터 위에 니켈 seed layer (Nickel Seed Layer) 를 증착한 후, 니켈 전기주조 (Electroforming) 공정을 통해 니켈 나노 스탬프를 제작하였다. 니켈 나노 스탬프를 이용하여 나노 성형 공정을 통해 최종적으로 사용될 폴리머 필라 패턴을 제작하였다.

나노 성형 공정을 통해 제작된 나노 필라 패턴을 패턴드 미디어로 적용하기 위해 HV 스퍼터링 (High Vacuum Sputtering) 기술을 통해 Co-Cr-Pt (CCP) 합금 계열의 자성 박막을 증착하였다 (Fig.2(a)). 증착된 나노 자성 박막의 두께는 30nm 이다. Fig.2(b)는 본 연구에서 증착되어진 CCP 자

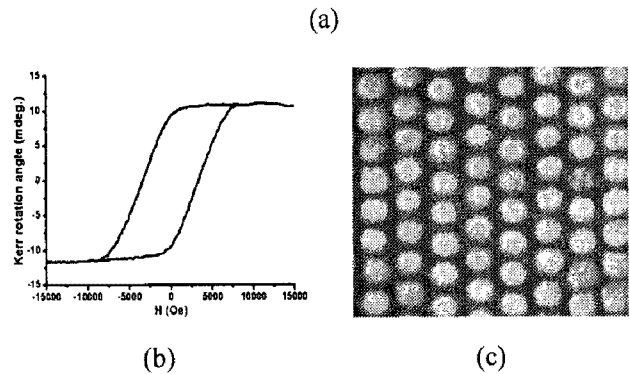
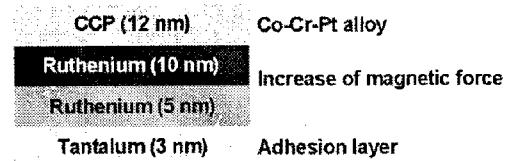


Fig.2 (a) 30-nm magnetic film structure of a 3-nm tantalum adhesion layer, a 15-nm ruthenium under layer, and a 12-nm thick Co-Cr-Pt (CCP). (b) A perpendicular MOKE hysteresis loop of the 12-nm thick Co-Cr-Pt layer, (c) SEM images of molded nanopillar arrays with magnetic thin film

성 박막에 대한 Magneto-Optic Kerr effect (MOKE) 측정 결과를 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이, CCP 박막의 Coercive force 가 3400 Oe 를 나타낼 수 있으며, 이 수치로 자성 박막이 패턴드 미디어로의 적용에 충분한 자성 특성을 지님을 알 수 있다. Fig.2(c) 는 자성 박막이 증착된 필라 패턴의 SEM 사진을 보여준다. 폴리머 필라 패턴 상에 자성 박막이 증착된 후에도 균일한 나노 필라의 형상을 나타낼 수 있다.

3. 자성 필라 패턴에 대한 자성 도메인 평가

3.1 MFM 의 원리

MFM은 시료의 자화 영역 및 자기력의 크기를 측정하기 위해 사용되는 자성 도메인 측정 방식으로써, 자성을 지니는 팁과 자화된 시편간의 자기력에 따른 팁의 움직임을 분석하여 표면 자성 도메인을 분석하여 보여준다. 일반적으로, 팁에 작용되는 자기력은 아래와 같은 식 (1) 로 나타내어질 수 있다.

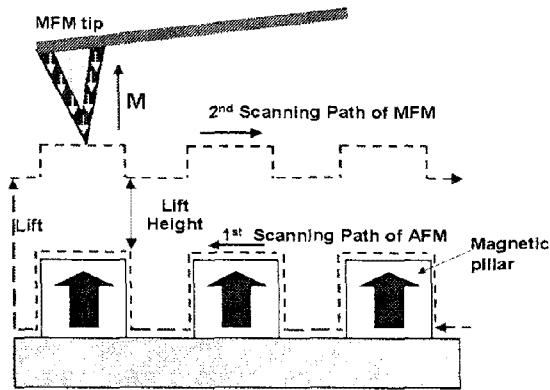


Fig.3 Schematic diagram of MFM Measurement system with magnetic deposited MFM tip

$$F = \mu_0 \nabla(m \cdot H) \quad (1)$$

여기서, m 은 MFM 팁의 자성 모멘트 (magnetic moment) 를 나타내며, H 는 자기 미디어에서의 표유 자기장 (magnetic stray field) 을 나타낸다. 식 (1) 에서 보는 바와 같이, MFM 측정에 의해 자기 미디어 에서 발생하는 표유 자기장의 크기가 정량적으로 얻어질 수 있다.

3.2 MFM 팁의 부상 높이에 따른 평가

Fig.3 은 본 연구에서 응용된 MFM 측정 시스템의 개략도를 보여준다. 기본적으로는 MFM 측정에 응용되는 MFM 팁은 AFM (Atomic Force Microscopy) 의 팁에 자성 박막을 입힌 구조이며, 측정 전 자성적으로 포화시킨 후 사용한다. 식 (1) 에서 보는 바와 같이, MFM 측정 해상도를 높이기 위해서는 MFM 팁의 부상 높이 (Lift height) 를 낮춤으로 팁에 작용하는 자기력을 높여야 한다. 하지만, 팁의 부상높이를 지나치게 낮출 경우, 나노 구조물에서 발생하는 원자력 (Atomic force) 이 커짐으로 MFM 이미지에 노이즈로 작용할 수 있다.

본 연구에서 제작된 자성 필라 패턴의 자성 도메인 평가시, MFM 팁의 부상 높이가 MFM 측정 결과에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위해, MFM 팁의 부상 높이를 10 nm - 130 nm 로 설정하여 평가하였다. Fig.4 는 팁의 부상 높이에 따른 측정 형상을 보여준다. Fig.4 에서 보는 바와 같이 팁의 부상 높이가, 패턴의 높이와 유사한, 35nm 이상일 경우에는 부상 높이가 높아질수록 해상도가 떨어진다. 반면에 35nm 이하로 팁이 부상해 있을 경우, 그 형상은 본래의 AFM 이미지와 달리 급격히 왜곡됨을 볼 수 있다. 이를 통해, 최적

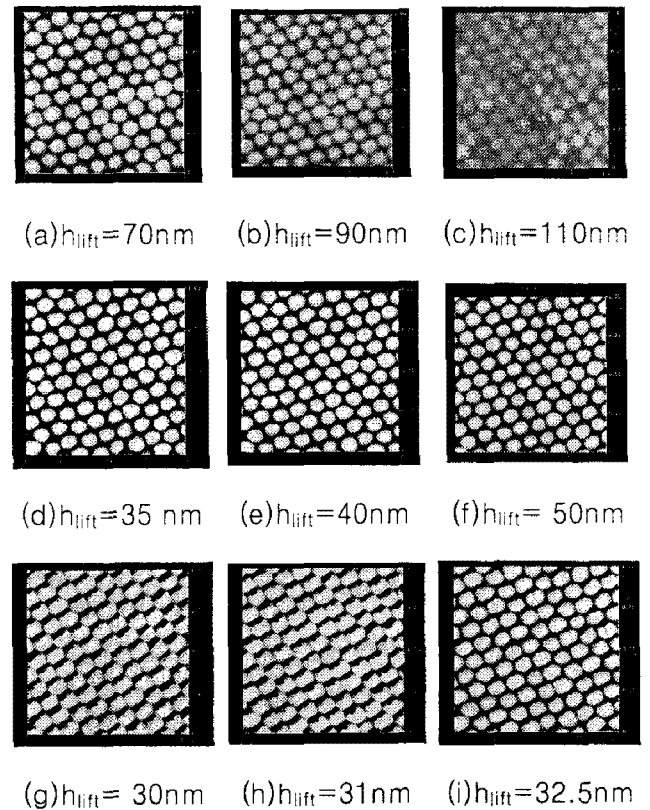


Fig.4 Measured MFM images of the same patterned media substrate with a various lift height ; 30 nm-110 nm

의 MFM 팁 부상 높이는 자성 패턴의 높이와 유사한 35nm 임을 알 수 있다.

3.3 MFM 팁의 반경 및 형상에 따른 자성 도메인의 평가

본 연구에서는 MFM 팁의 반경에 MFM 측정 해상도에 미치는 영향을 분석하기 위해, 25nm 및 50nm의 서로 다른 팁 반경을 갖는 MFM 팁을 응용하여 MFM 을 측정하였다. Fig.5 는 MFM 팁의 반경에 따른 MFM 측정 결과를 보여준다. Fig.5(a) 는 50nm 크기의 팁 반경을 갖는 MFM 팁을 이용한 측정 결과로써, 팁이 50nm 패턴을 측정하기에 얻기에는 어려움이 있음을 알 수 있다. 반면, Fig.5(b)는 25nm MFM 팁을 이용한 측정 결과를 보여주며, 작은 팁의 반경으로 인해 50nm 자성 나노 패턴의 자성 도메인 이미지를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

또한, MFM 팁 상에 증착된 자성 박막의 두께가 측정 결과에 미치는 영향을 분석하기 위해, 자성

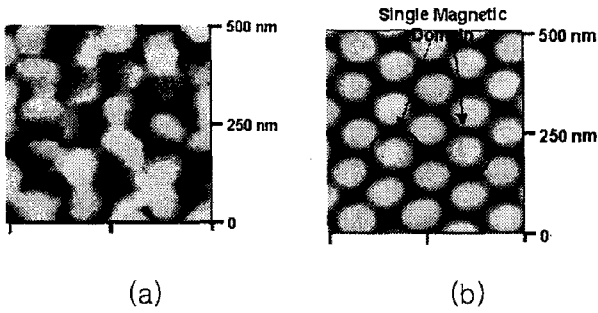


Fig.5 The measurement result of the magnetic domain with conventional tip with (a) a radius of 50 nm, and (b) a radius of 25 nm

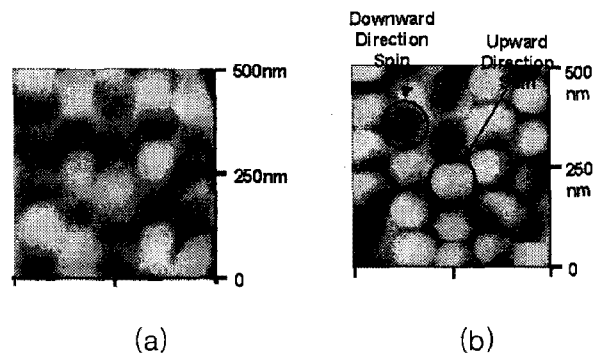


Fig.6 MFM measurement result of the magnetic domain with different magnetic film thickness; (a) 23-nm-thick-film, (b) 35-nm-thick-film

박막의 두께가 35nm와 23nm인 MFM 팁을 각각 응용하였다. Fig.6(a) 및 Fig.6(b) 는 35nm와 23nm의 자성 박막이 증착된 팁을 이용한 결과를 각각 보여준다. Fig.6 에서 보는 바와 같이, 35nm 두께의 자성 박막이 증착된 팁을 이용한 결과가, 23nm의 자성 박막에 비해 이미지의 해상도가 향상됨을 확인할 수 있다. 또한, Fig.6 에서 노란색 및 검정색 도메인이 각각 배열되어 있음을 확인할 수 있으며, 이를 통해서 각 자성 패턴이 Single Magnetic Domain이 형성되었음을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서, 성형된 자성 필라 패턴의 자성 도메인을 평가하기 위해, MFM 팁의 부상 높이 및

형상에 따른 분석을 수행하였다. 이를 통해, 35nm의 최적의 부상 높이를 결정하였고, 팁의 반경 및 팁의 자성 박막에 따른 자성 도메인의 측정 결과에 미치는 영향을 확인할 수 있었다. 또한, 나노성형으로 제작된 필라 패턴의 패턴드 미디어의 Single Magnetic Domain의 형성을 확인하였다.

후 기

본 연구는 과학기술부가 주관하는 21세기 프론티어연구개발사업의 일환인 나노메카트로닉스 기술 개발사업단의 연구비 지원 (M102KN010005-07K1401-00530) 에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] G. M. McClelland, M. W. Hart, C. T. Rettner, M. E. Best, K. R. Carter, and B. D. Terris, "Nanoscale patterning of magnetic islands by imprint lithography using a flexible mold," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 81, No.8, pp. 1483-1485, 2002.
- [2] Namseok Lee, Jeongwon Han, Jiseok Lim, Minseok Choi, Yoonsung Han, Jongill Hong, and Shinill Kang, "Injection Molding of Nanopillars for Perpendicular Patterned Magnetic Media with Metallic Nanostamp," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 47, No. 3A, pp. 1803-1805, 2008.
- [3] Namseok Lee, Yongkyu Kim, Shinill Kang and Jongill Hong, "Fabrication of metallic nano-stamper and replication of nano-patterned substrate for patterned media " *Nanotechnology*, Vol.15, Issue.8, pp.901-906, 2004.
- [4] G. N. Phillips, M. Siekman, L. Abelmann, and J. C. Lodder, "High resolution magnetic force microscopy using focused ion beam modified tips," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 81, pp. 865, 2002.
- [5] A. van den Bos, I. Heskamp, M. Siekman, L. Abelmann, and C. Lodder, "The CantiClever: A Dedicated Probe for Magnetic Force Microscopy," *IEEE Trans. Magn.*, Vol. 38, No. 5, 2002.
- [6] L. Zhang, J. A. Bain, J. G. Zhu, L. Abelmann, and T. Onoue, "The role of MFM signal in mark size measurement in probe-based magnetic recording on CoNi/Pt multilayers," *Physia B*, 387, p.328, 2007.