

나노임프린트 패터닝과 자성박막도금을 이용하여 제작한 패턴드미디어용 자기패턴의 자기적 및 결정구조특성에 관한 연구

이병규* · 이두현 · 이명복 · 김해성 · 조은형 · 손진승
삼성종합기술원, 경기도 용인시 기흥구 농서동 산 14-1, 446-712

이창형 · 정근희 · 서수정
성균관대학교 신소재공학과, 경기도 수원시 장안구 천천동, 440-746

(2008년 3월 6일 받음, 2008년 3월 19일 최종수정본 받음)

50 nm pitch의 magnetic dot pattern을 갖는 hard disk drive용 patterned media를 nanoimprint lithography(NIL) patterning과 electroplating 공정을 이용하여 제작하고 자기 및 결정구조 특성을 관찰하였다. Patterned media는 Si(100) wafer 위에 Ru(20 nm)/Ta(5 nm)/SiO₂(100 nm)를 순차적으로 증착한 후 nanoimprint lithography를 이용하여 25 nm half pitch의 hole pattern을 형성하고 그 후 패터닝된 기판을 plasma ashing 공정을 이용하여 기판의 Ru층을 노출시킨뒤 electroplating을 이용하여 Co-Pt 합금막을 증착하여 제작하였다. Magnetic force microscopy(MFM) 분석을 이용하여 제작된 각각의 magnetic dot pattern이 single domain 특성과 수직자기이방성을 가지고 있음을 확인하였고, superconducting quantum interference device(SQUID) 분석을 통하여 2900 Oe 이상의 높은 수직방향 보자력을 확인하였다.

주제어 : 패턴드미디어, 나노임프린트, 자성도금, Co-Pt alloy, single domain

I. 서 론

HDD 기술의 기록밀도증가 한계를 극복할 수 있는 차세대 자기기록기술로 주목받고 있는 패턴드미디어는 이론적으로 자기기록의 superparamagnetic limit을 극복하고 signal to noise(SNR) 특성을 향상시켜주지만 기술적으로는 수십 나노미터크기의 패터닝 공정이 필요하고 이로 인한 제조비용 상승이 사업화의 한계로 지목되고 있다. 하지만 이러한 기술적 한계와 제조공정에 대한 한계에도 불구하고 500 Gb/in² 이상의 기록밀도 구현을 위한 대안이 없는 상황으로 인식되고 있고, 이 때문에 주요 hard disk drive(HDD) 업체나 학계에서는 패턴드미디어 기술에 대한 관심과 연구가 확대되고 있다 [1-4]. Patterned media의 연구는 media 관점에서 크게 3가지 분야에서 고려되어야 한다. Patterning 방법, magnetic dot 물질 및 제작방법 그리고 자기적특성확보 등이다. 앞의 두 경우는 생산비용 및 고밀도 기록의 구현과 관련되어 있고, 후자의 경우는 데이터의 기록/재생특성 및 보존한계와 관련이 있다. 이러한 특성은 superparamagnetic limit을 극복하고 기존의 기록 head로부터 인가되는 writing field에 의해 기록 미디어가 쉽게 기록되고 재생되어질 수 있는 특성을 의미한다. 자기적으로 superparamagnetic limit은 magnetic volume 과 수직자기이방성 에너지에 비례하며 패턴드미디어의 경우

형성된 magnetic dot을 하나의 domain화하면 magnetic volume이 향상되어 superparamagnetic limit을 극복할 수 있다 [5, 6]. 또한 writability 측면에서는 높은 H_c 보다는 head가 기록 가능한 범위의 coercivity를 갖도록 자기기록물질을 디자인하면 우수한 기록특성을 확보할 수 있다.

본 연구에서는 사업화에 측면에서 경쟁력 있는 기술을 확보하여 patterned media의 HDD 적용 가능성을 검증하고자 앞에서 서술한 3가지 관점에서 patterned media를 제작하고 가능성을 검증하였다. patterning은 nanoimprint lithography를 이용하여 half pitch 25 nm의 hole pattern을 제작하였고, electroplating을 이용하여 Co-Pt 합금을 hole pattern 속에 충전시켜 magnetic dot pattern을 제작하였다. 결정구조특성은 XRD와 SADP 분석을 통하여 평가하였고, MFM과 SQUID를 이용하여 magnetic dot pattern의 수직자기이방성 특성, magnetic hysteresis loop 특성 및 domain 거동 등을 관찰하였다.

II. 실험 방법

Patterned media를 제작하기 위한 기판은 4인치 Si(100) wafer 위에 thermal oxidation을 이용하여 SiO₂층을 100 nm 두께로 성장시킨 후 4인치의 DC 마크네트론 스퍼터링 장치를 이용하여 Ta(5 nm)과 Ru(20 nm)를 연속적으로 증착하였다. 이때 Ta층은 SiO₂층과 Ru층 간의 밀착력을 향상시키기 위한

*Tel: (031) 280-8048, E-mail: byungkyu.lee@samsung.com

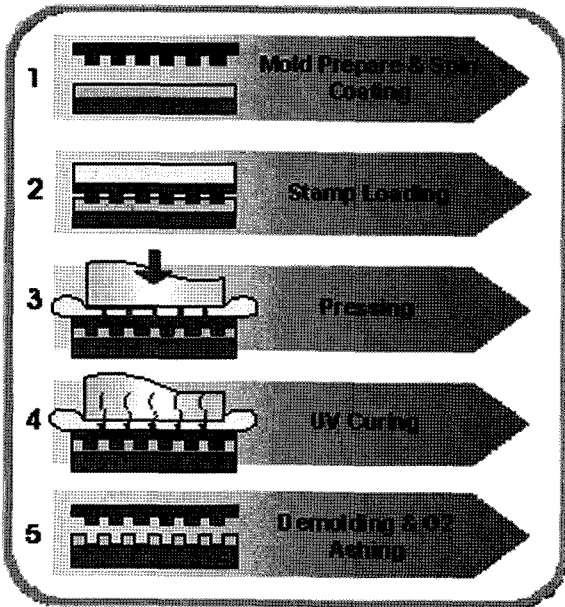


Fig. 1. Schematic of Nanoimprint Lithography to fabricate nano hole patterns.

목적으로 사용하였으며, Ru은 electroplating시 Co-Pt합금의 C-축배향성을 향상시키기위한 seed layer로 사용하였다. 그 후 electroplating을 이용하여 magnetic dot pattern을 형성하기 위해 seed layer가 증착된 기판위에 25 nm의 지름을 갖는 hole pattern을 nanoimprint lithography 공정을 이용하여 제작하였다.

Fig. 1은 nanoimprint lithography 공정을 이용하여 25 nm의 dot pattern을 제작하는 과정을 보여주는 그림이다. nanoimprint lithography 공정은 자체 제작한 patterned media 전용 공정 장비를 사용하였으며, 상기에서 기술한 바와 같이 제작된 기판위에 spin coater를 이용하여 액상의 고분자 resin을 도포한 후 25 nm의 pillar가 형성된 stamp를 각각 nanoimprint 장비 안에 loading 한 후 20 kgf의 인가 압력으로 가압하였다. 그 후 UV를 1분간 조사하여 curing시킨 후 stamp를 분리하여 hole pattern을 성형하였다. 마지막으로 hole pattern의 하부에 남아 있는 고분자 잔류층을 O₂ plasma ashing 공정을 이용하여 제거하여 electroplating이 가능하도록 하였다.

Nanoimprint lithography로 hole pattern을 제작한 후 electroplating 공정으로 Co-Pt 합금을 증진하여 magnetic dot pattern을 제작하였다. 전해액으로는 dinitro-diamine Pt [Pt(NO₂)₂(NH₃)₂]와 Co sulphamic acid[Co(NH₂SO₃)₂]를 사용하였다. 또한 완충제로서 미량의 ammonium citrate, glycine을 첨가하였고 기타 첨가제로 sodium hypophosphite, sodium hydroxide 등을 첨가 하였다.

Electroplating 공정은 상기의 전해액을 도금 bath에 넣고 도금온도를 75 °C, pH를 8.5로 고정하고 도금전압을 1.2 V로 설정하여 potentiostatic mode로 진행하였다. 이때 anode는 pt mesh를 사용하였고 cathode는 nanoimprint에 의해 제작된 hole pattern이 성형된 기판을 사용하였다. 제작된 patterned media는 scanning electron microscope(SEM), transmission electron microscope(TEM), atomic force microscopy(AFM), X-ray diffraction(XRD) 등을 이용하여 형상 및 결정구조분석을 진행하였고 SQUID와 MFM을 이용하여 자기적특성을 평가하였다.

III. 결과 및 토의/실험결과 및 고찰

Fig. 2는 제작된 patterned media의 형상을 보여주는 SEM 사진이다. magnetic dot들의 pitch는 50 nm이고 Dot의 직경은 35 nm, dot과 dot 사이의 space는 15 nm임을 알 수 있다. 초기 공정시 25 nm 직경의 pillar를 사용하여 NIL 공정을 진행하여 25 nm의 hole pattern을 성형 하였으나 패턴의 UV curing시 shrinkage가 15 % 정도 발생하였다. 또한 도금을 위하여 기판상에 남아있던 고분자 잔류층을 O₂ Plasma ashing을 이용하여 제거하였는데 이 공정에 의하여 패턴 hole의 직경이 더욱 확대되는 결과를 가져왔고 결국 35 nm의 hole 패턴을 형성하게 되었다. 하지만 일부 pairing 현상에 의한 패턴 변형을 제외하고는 전체적으로 균일한 magnetic dot들이 형성되고 있음을 알 수 있다. 이러한 magnetic dot간의 pairing 현상은 electroplating 과정이 원인이 되어 생성된 것이라기 보다는 nanoimprint lithography 공정시 발생한 hole pattern의 defect에 의해 영향을 받은 것으로 생각된다. 즉, nanoimprint lithography 공정에서 형성된 hole pattern이

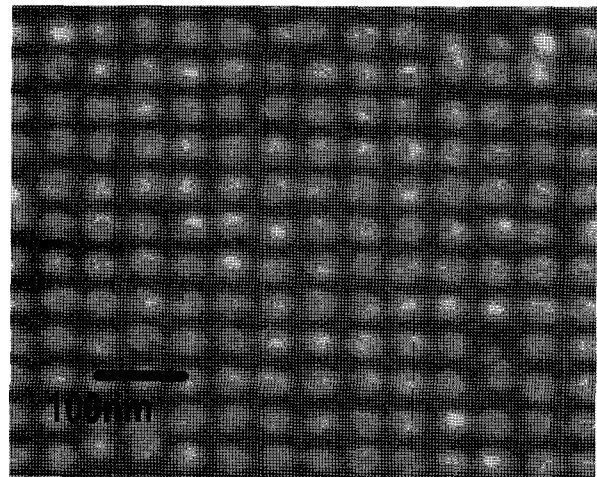


Fig. 2. Magnetic dot patterns of 35 nm dot and 15 nm space, fabricated using nanoimprint lithography and Co-Pt electroplating.

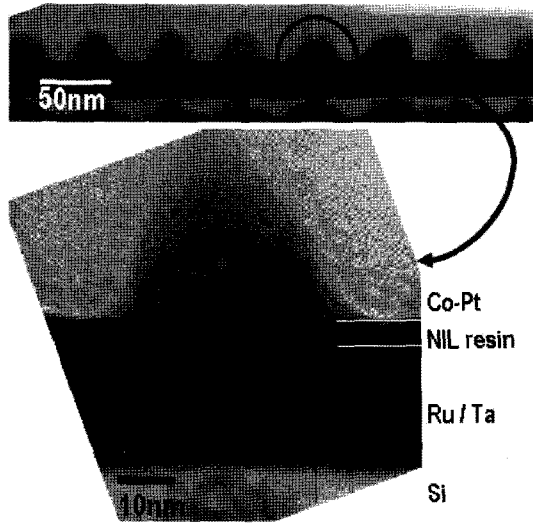


Fig. 3. The cross-sectional TEM micrograph of magnetic dot pattern in patterned media.

stamp의 defect 등에 의해서 서로 pairing하게 되고 그로인하여 electroplating시 pairing된 상태로 충전된 것으로 생각된다. 이러한 defect들은 실제로 patterned media로 사용될 때는 기록될 수 없는 영역이 되기 때문에 최소화하여야 할 필요가 있다.

제작된 patterned media의 박막성장 거동과 형태 그리고 도금된 Co-Pt합금의 조성을 분석하기 위하여 TEM을 이용하여 단면을 관찰한 후 SADP와 EDS 분석을 진행하였다.

Fig. 3은 TEM으로 관찰한 패턴드미디어의 단면을 보여주는 이미지이다. Ru과 Ta 박막이 증착된 Si 기판위에 magnetic dot들이 NIL로 제작된 50 nm pitch의 고분자 hole을 통하여 잘 성장하고 있음을 알 수 있다.

도금된 Co-Pt magnet dot pattern의 결정성장방향 및 조성은 selected area diffraction pattern(SADP)와 energy dispersive spectrometer(EDS)를 이용하여 분석하였으며, Fig. 3의 TEM

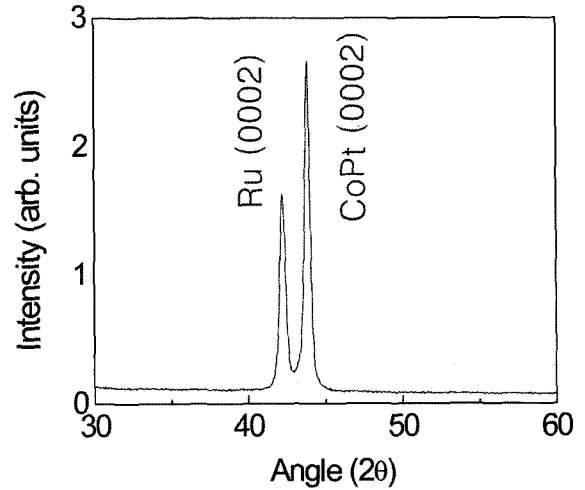


Fig. 5. XRD spectrum of Ru seed layer and Co-Pt magnetic dot pattern.

단면 시편을 활용하여 동시에 분석하였다. Fig. 4의 (a)는 SADP에 의한 회절 패턴을 보여준다. 회절패턴을 보면 Co HCP 면과 일치하며, (b) EDS 성분 분석 결과를 보면 Co와 Pt의 특성 peak이 검출되었으며 환산결과 magnetic dot의 atomic 조성이 Co:Pt=92:8로 나타내고 있음을 알 수 있다. 따라서 제조된 magnetic dot pattern은 Co의 함량이 90 at% 이상이며 HCP 구조를 가지고 성장했음을 알 수 있다.

Co-Pt magnetic dot이 HCP 구조를 가지고 성장하게 된 것은 Co 자체가 HCP 구조를 가지고 있는 것도 있지만 도금을 위한 seed layer로서 Ru를 사용하였기 때문으로 판단된다. 특히 Ru의 격자상수는 Co와 비교하였을때 격자상수의 차이가 5% 정도로 작으며 (0002)면으로 우선 배향되는 특성이 있다. 이러한 특성으로 인하여 Ru의 seed layer 위에 Co가 배향되어 HCP 구조를 가지고 C축인 (0002) 면으로 우선 성장하게 되었다. Fig. 5는 XRD를 이용하여 Ru 박막 위에 제

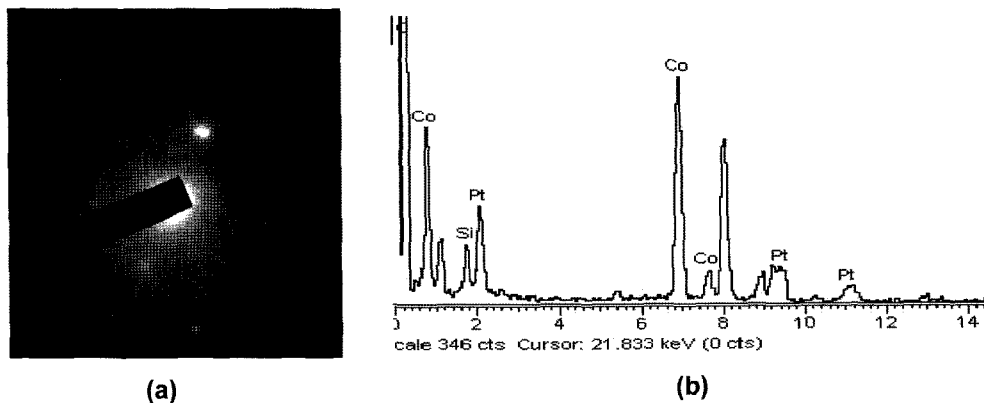


Fig. 4. Reflection pattern of SADP analysis (a) & characteristic peak of EDS analysis (b) of magnetic dot pattern.

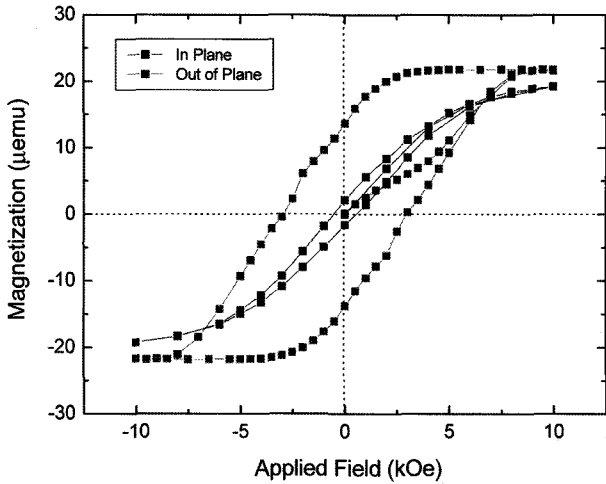


Fig. 6. Magnetic hysteresis loop of electroplated magnetic dot pattern.

작된 Co-Pt의 magnetic dot pattern들의 회절패턴을 측정된 결과이다. Ru의 HCP (0002)면과 Co의 HCP (0002)면이 우선 성장방향으로 잘 성장되어 있음을 알 수 있다.

자기특성을 평가하기 위하여 SQUID를 이용하여 dot pattern의 수직방향과 수평방향에 대하여 magnetic hysteresis loop를 측정하였다. Fig. 6에서 보는 바와같이 수직방향으로 easy direction을 가지고 있으며 수직자기 이방성이 형성된 것을 알 수 있다. 수직방향에 대한 보자력은 2900 Oe, squareness(M_r/M_s)는 0.6을 나타내고 있다. 이러한 수직자기 이방성은 Co-Pt magnetic dot들이 Co의 수직이방성 방향인 C-축 (0002)으로 배향된 결과로 볼 수 있다.

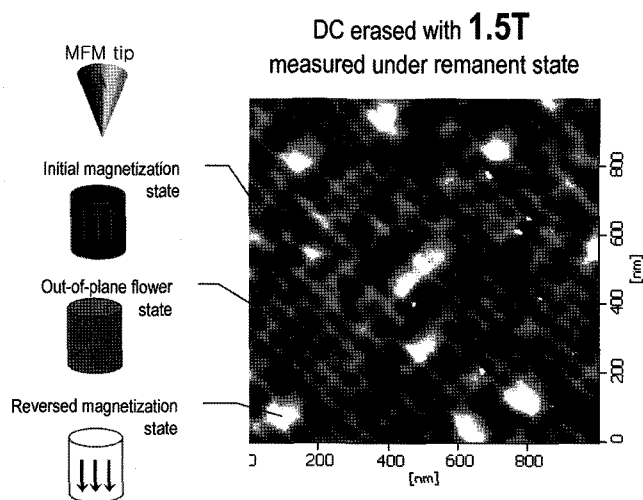


Fig. 7. MFM image of magnetic dot pattern of patterned media.

Fig. 7은 MFM 을 이용하여 제작된 patterned media에 대하여 magnetic force를 측정한 결과이다 측정 전에 시편을 1.5 T의 인가자장을 이용하여 면의 수직방향으로 DC erase시킨 후 각각의 dot pattern에 대하여 자화극성을 측정하여 수직방향의 정렬정도를 측정하였다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 각각의 magnetic dot에 대응하는 magnetic domain을 확인할 수 있었다. 자화상태 역시 DC erase된 방향으로 자화되어 있음을 알 수 있다. 다만 몇몇 반전된 자화 패턴은 magnetic domain의 크기가 크고 몇 개의 magnetic 패턴이 합쳐진 형태로 나타나는 것으로 보아 앞에서 설명한 pairing 현상을 일으킨 magnetic dot pattern에 기인한 것으로 생각된다.

IV. 결 론

Nanoimprint lithography patterning 공정과 electroplating 공정을 이용하여 저비용 고 생산성이 가능한 50 nm pitch의 patterned media를 제작하여 특성을 관찰하였다. 보자력 2900 Oe와 수직자기 이방성이 확보되었고, 각각의 magnetic dot pattern들이 단자구화 하였음을 알 수 있었다. 이러한 자기적 특성은 낮은 writing field를 가지고도 제조된 patterned media를 충분히 기록할 수 있는 수준이며 superparamagnetic limit을 극복하기에도 충분한 magnetic potential을 지니고 있음을 의미한다. 다만 상용화를 위해서는 제조시 발생하는 물리적인 defect을 최소화하여 저장매체로서의 신뢰성을 확보하는 것이 필요하다고 생각된다.

참고문헌

- [1] M. L. Plumer, J. van Ek, and D. Weller, *The Physics of Ultra High Density Magnetic Recording*, Springer, Germany (2001), Chapter 7.
- [2] J. Moritz, B. Dieny, J. P. Nozières, R. J. M. van de Veerdonk, T. M. Crawford, D. Weller, and S. Landis, *Appl. Phys. Lett.*, **86**, 063512 (2005).
- [3] Y. Kitade, H. Komoriya, and T. Maruyama, *IEEE Trans. Magnetics*, **40**(4), 2516 (2004).
- [4] C. T. Rettner, S. Anders, T. Thomson, M. Albrecht, Y. Ikeda, M. E. Best, and B. D. Terris, *IEEE Trans. Magnetics*, **38**(4), 1725 (2002).
- [5] R. Wood, *IEEE Trans. Magnetics*, **36**, 36 (2000).
- [6] D. Weller and A. Moser, *IEEE Trans. Magnetics*, **35**, 4423 (1999).

Magnetic & Crystallographic Properties of Patterned Media Fabricated by Nanoimprint Lithography and Co-Pt Electroplating

B. K. Lee*, D. H. Lee, M. B. Lee, H. S. Kim, E. H. Cho, and J. S. Sohn

Samsung Advanced Institute of Technology, Youngin, Gyeonggi 446-712, Korea

C. H. Lee, G. H. Jeong, and S. J. Suh

Sung Kyun Kwan University, Suwon, Gyeonggi 440-746, Korea

(Received 6 March 2008, in final form 19 March 2008)

Magnetic and crystallographic properties of patterned media fabricated by nanoimprint lithography and Co-Pt electroplating were studied. Thin films of Ru(20 nm)/Ta(5 nm)/SiO₂(100 nm) were deposited on Si(100) wafer and then 25 nm hole pattern was fabricated by nanoimprint lithography on substrate. The electroplated Co-Pt nano-dots have the diameter of 35 nm and the height of 27 nm. Magnetic dot patterns of Co-Pt alloy were created using electroplated Co-Pt alloy and then their properties were measured by MFM, SQUID, SEM, TEM and AFM. We observed single domain with perpendicular anisotropy for each dot and achieved optimum coercivity of 2900 Oe. These results mean that patterned media fabricated by nanoimprint lithography and electroplating have good properties in view of extending superparamagnetic limit while satisfying the writability requirements with the present write heads.

Keywords : patterned media, nanoimprint, electroplating, Co-Pt alloy, single domain