Co/Pd 및 Co/Pt 수직자기기록매체에 있어서 바닥층의 스퍼터링 압력과 M-H 거동의 관계

오훈상 · 이병일 · 주승기
서울대학교 공과대학 재료공학부 금속공학과
서울특별시 관악구 신림동 산 56-1, 151-742

(1996년 6월 14일 받음, 1996년 9월 15일 최종수정본 받음)

수직자기 기록매체를 위해 스퍼터링법으로 Co/Pd 및 Co/Pt 다층막을 형성하였으며 Pd 및 Pt 바닥층의 증착 압력이 다층막의 자화거동 및 보자력에 미치는 영향에 대해 연구하였다. Co/Pd 다층막의 경우 보자력이 바닥층의 증착 압력에 매우 민감하여 바닥층 증착압력만을 조절함으로써 보자력을 크게 증가시킬 수 있었으나 Co/Pt 경우 바닥층의 증착압력 조절에 의한 보자력 증대효과는 미미하였다. 바닥층의 종류 및 증착압력에 따른 다층막의 보자력 변화를 바닥층의 표면 거칠기 및 다층막 증착시의 계면상태 변화의 측면에서 설명할 수 있었으며 이는 바닥층의 증착압력의 증가에 따른 다층막의 수직이방성 에너지 감소 및 자화반전 기구의 변화와도 연관시킬 수 있었다. 다층막의 Kerr 회전각은 바닥층의 종류 및 증착압력에는 거의 의존하지 않는 것으로 나타났다.

Ⅰ. 서 론

Co/Pd 및 Co/Pt 인공초격자 다층박막은 강한 수직자기이방성, 단파장 영역(300-500 nm)에서의 큰 Kerr 회전각 및 우수한 내산화성 등의 장점 때문에 기존의 천이금속-희토류 합금계의 광자기 기록매체를 대체할 차세대 광자기 기록매체로 각광받아왔으며[1, 2] 최근엔 수직자기 기록매체로써의 응용가능성도 보고된 바 있다[3]. 그러나 이들 코발트계 다층박막의 주요 단점 중의 하나는 현재 자기 및 광자기 기록매체 제조에 널리 사용되고 있는 Ar 스퍼터링법으로 이들 다층막을 형성할 경우 낮은 보자력을 나타낸다는 것이며 Co/Pd 다층막의 경우 약 1 ~ 2 kOe, Co/Pt의 경우 1 kOe 내외의 보자력을 나타내는 것으로 알려져 있다. 이러한 낮은 보자력은 기록자구의 안정성 및 기록 가능한 최소 비트 크기의 측면에서 불리하므로 이들 다층박막의 보자력 증대를 위한 연구가 최근 활발히 진행되어왔다. 기존에 보고된 이들 다층박막의 보자력 증대방안으로는 다층박막의 스퍼터링 압력 증가[4], 다층막 형성 이전에 Pd 및 Pt 바닥층의 형성[2], 스퍼터링 기체로 Ar 대신 Xe이나 Kr과 같은 무거운 불활성 기체의 사용[5] 및 유전체 바닥층의 이용[6] 등을 대표적인 예로 꼽을 수 있으나 이러한 방법들은 각기 단점을 내포하고 있다. 다층막의 스퍼터링 압력을 높이는 경우 보자력은 증가하지만 동시에 Kerr 회전각이 감소할 뿐만 아니라 디스크로 제작한 경우 매체 잡음이 크다고 알려져 있으며[7], Pd이나 Pt등의 금속 바닥층을 사용하는 경우엔 바닥층의 두께가 증가할수록 역시 Kerr 회전각이 큰 폭으로 감소할 뿐만 아니라 광학적 측면에 있어서도 두꺼운 금속바닥층의 사용은 바람직하지 않다[8]. Xe이나 Kr과 같은 무거운 불활성 기체를 스퍼터링 기체로 사용하는 경우 다층막의 보자력 및 수직이방성 에너지가 증가한다고 보고되었으나[5] 이들 기체의 사용은 경제적인 측면에서 불리하다.

한편, 최근에 몇몇 연구자들에 의해 다층막이 성장하는 기판 및 바닥층의 표면 거칠기가 다층막의 자기적 특성에 큰 영향을 미친다는 사실이 보고되었으며[9-11] 특히 Co/Pd 다층막의 경우 Pd 바닥층의 표면 거칠기를 증대시킴으로써 자벽이동억제 기구에 의해 다층막의 보자력을 증대시킬 수 있다는 결과가 보고된 바 있다[11].

본 연구에서는 이러한 기존의 연구결과를 바탕으로, Co/Pd 및 Co/Pt 다층막 형성 이전에 100 Å 정도의 매우 얇은 Pd 및 Pt 바닥층을 형성하고 이들 바닥층 형성시 스퍼터링 압력을 변화시킴으로써 표면 거칠기를 원자수준에서 인위적으로 조절하여 이를 통해 Kerr 회전각의 감소없이 다층막의 보자력을 증대시키고자 하였다. 아울러 바닥층의 증착조건이 Co/Pd 과 Co/Pt 다층막의 자화거동에 미치는 영향에 대해서도 연구하였다.

Ⅱ. 실험방법

모든 시편은 고주파 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 제작하였으며 기판으로는 슬라이드 유리를 사용하였다. 스퍼터링을 행하기 전 초기 진공은 5×10^{-7} Torr 이하로 유지하였으며 다층막 형성이전에 Pd 및 Pt 바닥층을 100 Å 두께로 형성한 후 다층막을 증착하였다. 바닥층 증착시 스퍼터링 압력은 6 mTorr에서 24 mTorr까지 변

화시켰으며 Co/Pd나 Co/Pt의 다층막은 모두 12 mTorr에서 스퍼터링하였다. Co 단위층의 두께는 4 Å, Pd 및 Pt 단위층의 두께는 10 Å으로 하였으며 Co와 Pd 및 Pt 타겟에의 인가전력은 각각 50, 40, 40 W로 고정하였고 단위층의 적층반복횟수도 15로 고정하였다. 시편구조는 예를 들어 z Å 두께의 Pd 바닥층 위에 x Å의 Co 단위층과 y Å의 Pd 단위층을 N회 반복적층한 경우 $[Co(x\ Å)/Pd(y\ Å)]_N Pd(z\ Å)$과 같은 방법으로 표기하였다. X-선 회절법으로 다층막의 주기성 확인 및 결정성을 조사하였으며 시편진동자력계(Vibrating Sample Magnetometer)를 이용하여 자기적 특성을 조사하였다. 초기자화곡선은 시편을 교류탈자법으로 탈자시킨 후 측정하였다. 바닥층의 표면거칠기는 원자력현미경(Atomic Force Microscope)으로 측정하였고, Kerr 회전각은 Kerr spectrometer를 이용하여 450 nm의 파장에서 측정하였다.

Ⅲ. 실험결과 및 고찰

스퍼터링 압력에 따른 Pd 및 Pt의 증착속도 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 6 mTorr의 경우 두 물질의 증착속도는 거의 동일하였고, 스퍼터링 압력이 증가함에 따라 증착속도가 단조감소하였으나 Pt에 비해 Pd이 훨씬 더 큰 폭으로 감소하였다. 스퍼터링 압력을 변화시켜가며 유리기판 위에 100 Å 두께의 Pd 및 Pt 박막을 증착한 후 원자력 현미경으로 표면 거칠기를 평가하였으며 그 결과를 Table Ⅰ에 보였다. 높은 압력에서 증착한 막이 낮은 압력에서 증착한 것에 비해 표면 거칠기가 큼을 알 수 있으며, 또한 동일한 압력에서 스퍼터링한 경우 Pd이 Pt에

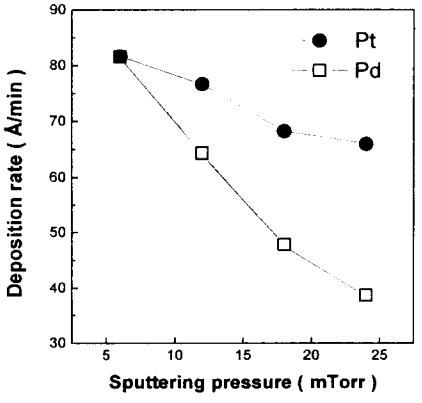


Fig. 1. Change of deposition rates of Pd and Pt with Ar pressure during sputtering.

Table Ⅰ. Roughness data obtained from AFM work done on the 100 Å thick Pd and Pt layers sputtered on glass substrates.

	Pt		Pd	
	6 mTorr	24 mTorr	6 mTorr	24 mTorr
Median height (Å)	11	16	17	25
Mean height (Å)	10	16	16	23
RMS roughness (Å)	1.9	4.8	3.2	6.1
Ave. roughness (Å)	1.4	3.7	2.5	4.6

비해 표면 거칠기가 큰 것으로 나타났다. 일반적으로 스퍼터링 압력이 증가할수록 이온 에너지가 감소하고 증착되는 원자의 운동에너지도 작을 뿐만 아니라 기판에 수직입사하는 원자의 수가 감소하여 상대적으로 사각입사하는 원자 수가 증가하게 되므로 성장하는 박막의 입장에서 볼 때 기존에 존재하는 기판의 표면 거칠기가 박막이 성장함에 따라 증폭되는 결과를 가져올 것으로 예상할 수 있다. 이러한 결과로부터 증착시의 압력을 조절하여 바닥층의 표면 거칠기를 조절할 수 있음을 알 수 있다.

Pd 및 Pt 바닥층의 증착압력에 따른 Co/Pd 및 Co/Pt 다층막의 보자력 변화를 Fig. 2에 나타내었다. Pd 바닥층 위에 증착한 Co/Pd 다층막의 경우 바닥층의 증착압력이 증가함에 따라 다층막의 보자력은 매우 큰 폭으로 증기하여 바닥층 증착압력이 24 mTorr인 경우 약 5 kOe 정도의 값을 나타내었다. 이는 스퍼터링 압력의 증가에 따라 Pd 바닥층의 표면 거칠기가 증가하며(Table Ⅰ) 다층막 성장시에도 Pd 단위층이 증착되는 12 mTorr는 다층막이 성장함에 따라 바닥층의 표면 거칠기가 계속 증폭되는 효과를 가져와 Co와 Pd간의 계면 거칠기 및 자기적 결함의 농도가 증가하기 때문으로 생각할 수 있다. Pt 바닥층 위에 증착한 Co/Pd 다층막의 경우에도 보자력은 바닥층 증착압력이 증가함에 따라 단조증가하는 것으로 나타났으나 보자력의 변화폭은 Pd 바닥층을 사용한 경우에 비해 훨씬 작았으며 이는 Table Ⅰ에 보인 것처럼 동일한 압력에서 스퍼터링한 경우 Pt 바닥층의 표면이 Pd에 비해 평탄하다는 사실과 연관시킬 수 있다. Pd 위에 성장시킨 Co/Pt 다층막의 경우 바닥층 스퍼터링 압력 증가에 따른 보자력의 증대효과가 관찰되기는 하였으나 Co/Pd 다층막의 경우에 비해 매우 미미하였다. 이는 바닥층의 바닥층의 스퍼터링 압력이 증가할수록 표면 거칠기가 증가하지만 다층막 증착시 바닥층에 의해 조장된 표면 거칠기가 다층막이 성장함에 따라 점차적으로 감

소하여 비교적 평탄한 계면구조의 다층막으로 전이되기 때문으로 생각할 수 있다. Pt 바닥층에 성장시킨 Co/Pt 다층막의 경우 앞서의 세 경우에 비해 다층막의 계면 거칠기가 바닥층의 압력에 가장 덜 민감할 것으로 예상되며 실험적으로 나타난 보자력의 변화도 이와 일치한다.

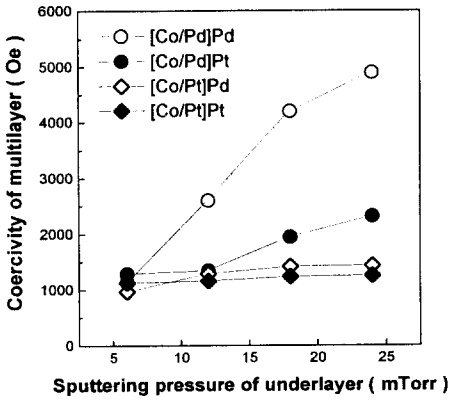


Fig. 2. Coercivity dependence of [Co(4 Å)/Pd(10 Å)]$_{15}$ and [Co(4 Å)/Pt(10 Å)]$_{15}$ multilayers on the sputtering pressure of Pd and Pt underlayers. All the multilayers were deposited at the same pressure of 12 mTorr.

[Co/Pd]Pd과 [Co/Pt]Pt 다층막의 바닥층 증착압력에 따른 자기이력곡선을 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 2에서 나타낸 바와 같이 [Co/Pd]Pd 다층막은 바닥층의 스퍼터링 압력 증가에 따라 보자력의 변화가 크게 증가하고 [Co/Pt]Pt 다층막의 경우에는 보자력의 변화가 거의 없음을 보여주고 있다. 두 종류의 다층막 모두 바닥층의 증착압력이 증가함에 따라 자화반전이 시작되는 이력곡선의 어깨부분이 완만한 곡선으로 변화함을 알 수 있으며 이는 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 수직이방성 에너지 K_u의 감소와 관련시킬 수 있다. X-선 회절분석 결과에 의하면 두 다층막 모두 바닥층의 증착압력이 증가함에 따라 소각 영역에서의 인공초격자 회절선 강도가 감소했을 뿐만 아니라 (111) 우선방위의 정도도 감소하는 것으로 나타났으며 K_u의 감소는 계면거칠기의 증가 및 결정성의 감소에 의한 것으로 생각된다. 하지만 Fig. 4에서 알 수 있듯이 전 압력 범위에서 [Co/Pt]Pt 구조의 다층막이 [Co/Pd]Pd 구조의 다층막보다 높은 K_u를 나타내었으며 거의 동일한 K_u값을 나타내는 [Co/Pd]Pd과 [Co/Pt]Pt 시편, 즉 12 mTorr에서 스퍼터링한 Pd 바닥층 위에 증착한 Co/Pd 다층막과 24 mTorr에서 스퍼터링한 Pt 바닥층 위에 성장한 Co/Pt 다층막의 보자력이 각각 2.6 kOe 및 1.2 kOe 임을 고려해볼 때(Fig. 2), 두 다층막에 있어 계면거칠기가 수직이방성 및 보자력에 기여하는 정도는 각기 크게 다른 것으로 생각되며 이에 대한 보다 면밀한 연구는 현재 진행 중에 있다.

바닥층의 스퍼터링 압력이 다른 [Co/Pd]Pd 및 [Co/Pt]Pt 다층막에 대해 수직방향으로 측정한 초기자화곡선과 자기이력곡선을 Fig. 5에 비교하였다. 탈자상태로부터 시작하는 초기자화곡선은 상향 및 하향 두 종류의 자구가 모두 존재하는 상태에서 가하는 자장방향의 자구가 성장하는 과정이므로 곡선의 초기부분은 자벽이동의 용이성을 나타낸다. 반면에 이력곡선에서 자화반전 초기

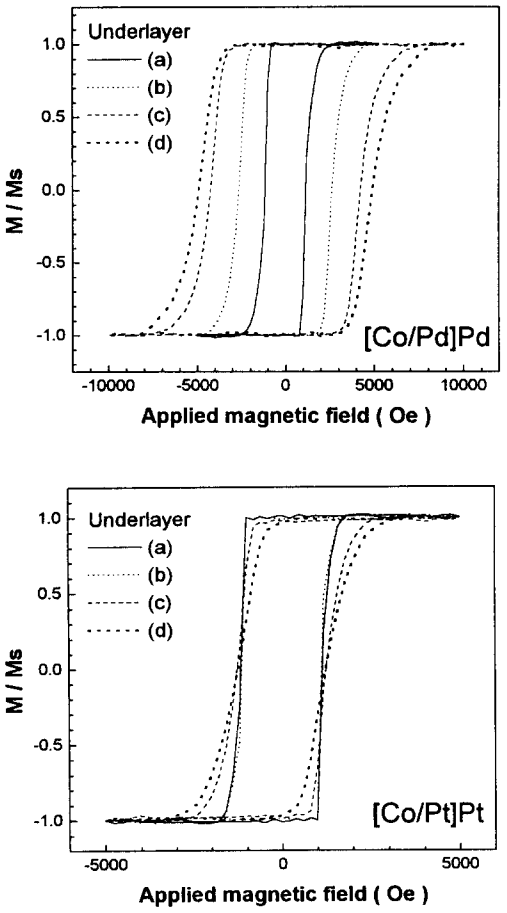


Fig. 3. Change of perpendicular magnetic hysteresis loops of [Co(4 Å)/Pd(10 Å)]$_{15}$Pd(100 Å) and [Co(4 Å)/Pt(10 Å)]$_{15}$Pt(100 Å) films. Pd and Pt underlayers were sputtered at (a) 6 (b) 12 (c) 18 (d) 24 mTorr.

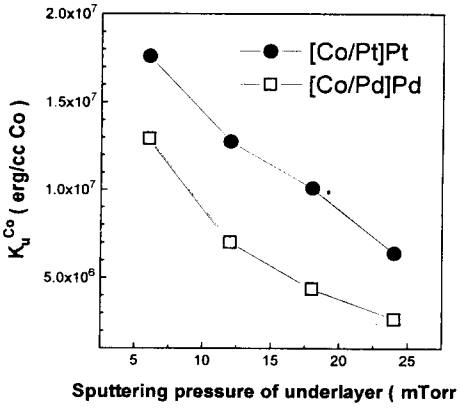


Fig. 4. Perpendicular uniaxial anisotropy constant K_u^{Co} of the multilayers shown in Fig. 3.

부분의 곡선은 스핀이 한 방향으로 정렬된 상태에서 역자구가 생성된 후 성장하는 과정이므로 핵생성(즉 자기모멘트 회전) 및 자벽이동에 대한 정보를 모두 포함한다. [Co/Pd]Pd의 경우 초기자화곡선 및 이력곡선을 미분하여 얻은 자화율 곡선을 비교해 보면 바닥층의 증착압력이 낮은 경우에는 역자구의 핵생성이 자벽이동에 비해 어려운 것으로 보이며 이는 Fig. 4에서 보인 바와 같이 수직이방성 에너지가 크기 때문으로 생각된다. 반면에 바닥층의 증착압력이 높은 경우 자벽이동이 오히려 역자구의 핵생성보다 어려운 것으로 나타났는데 이는 초기자화곡선에서 알 수 있듯이 계면거칠기 및 자기적 결함 증가에 의해 자벽이동이 강하게 억제되기 때문이고 자화반전시의 핵생성 자계(nucleation field, H_n)가 바닥층의 증착압력이 낮은 경우에 비해 증가한 것처럼 보이는 것도 사실은 낮은 자장에서 이미 생성된 역자구들이 제대로 성장하지 못하기 때문으로 판단된다. [Co/Pt]Pt의 경우, 바닥층 압력이 낮을 때는 [Co/Pd]Pd과 유사한 경향을 나타내나 바닥층의 증착압력이 높아도 Co/Pd에 비해 자벽이동 억제 효과가 별로 증대하지 않는다는 것이 [Co/Pd]Pd과 크게 다른 점이며 이는 바닥층에 의해 유도되는 다층막의 계면거칠기 및 결함의 정도가 이방성 에너지를 감소시키기엔 충분하지만 효과적인 자벽이동억제 효과를 나타내기에는 불충분한 것으로 생각할 수 있다.

Fig. 5에 나타내었던 시편들에 대해 보자력의 각도의 존성을 조사하였다[11, 12]. Fig. 6에 보인 바와 같이 두

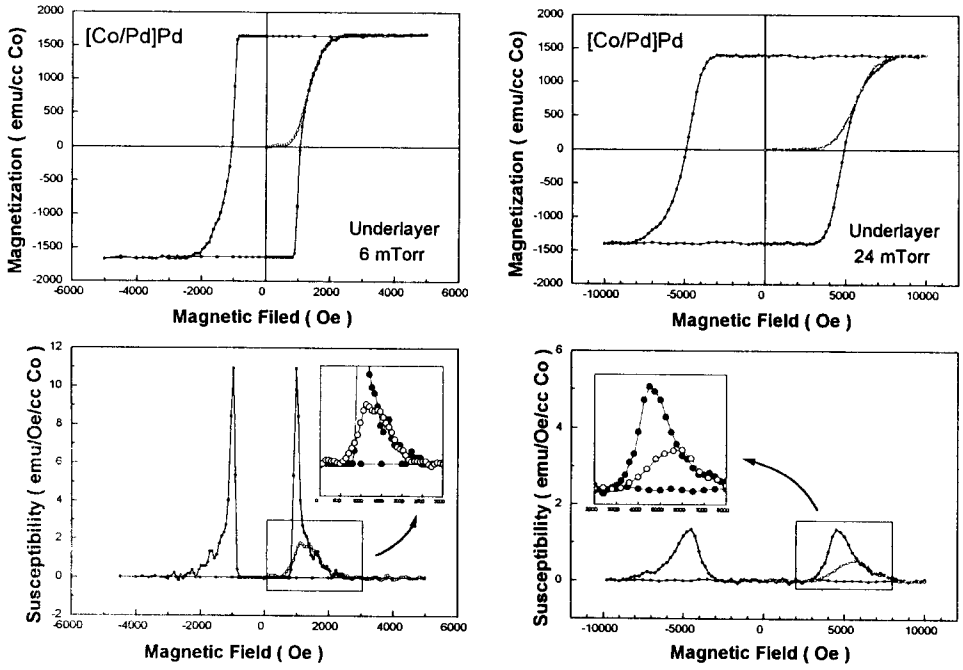


Fig. 5. (a) Magnetization curves(upper part) and magnetic susceptibilities(lower part) of $[Co(4\ Å)/Pd(10\ Å)]_{15}$ multilayers grown on Pd underlayers sputtered at low(6 mTorr) and high(24 mTorr) pressure.

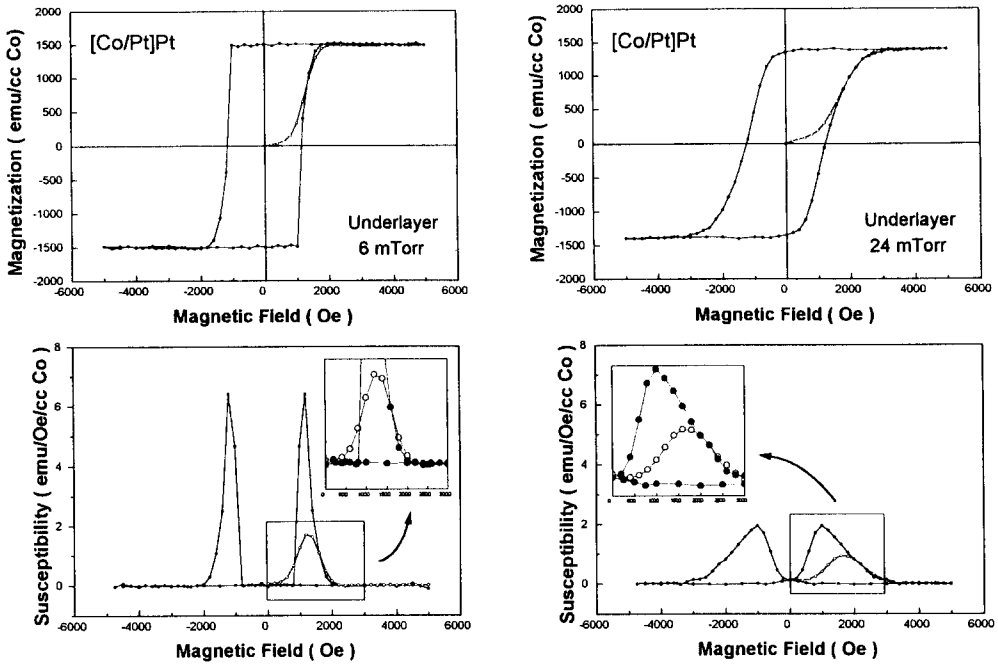
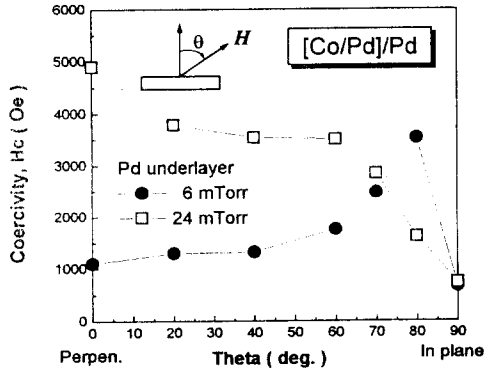


Fig. 5. (b) Magnetization curves(upper part) and magnetic susceptibilities(lower part) of $[Co(4\ Å)/Pt(10\ Å)]_{15}$ multilayers grown on Pt underlayers sputtered at low(6 mTorr) and high(24 mTorr) pressure.

종류의 다층막 모두 바닥층의 스퍼터링 압력이 낮은 경우에는 자벽이동이 자화반전을 주도하는 것으로 나타났다. 반면에 바닥층의 증착압력이 높을 때에는 [Co /Pd]Pd 경우 자기모멘트의 회전(역자구의 핵생성)이 자화반전을 주도하는 것으로 보이며 [Co /Pt]Pt의 경우엔 자벽이동 및 자기모멘트의 회전이 혼합되어 자화반전이 진행되는 것으로 생각된다. 이러한 결과는 Fig. 2 및 Fig. 5에서 기술했던 다층막의 계면거칠기 및 자기적 결함의 농도 측면에서 설명될 수 있다.



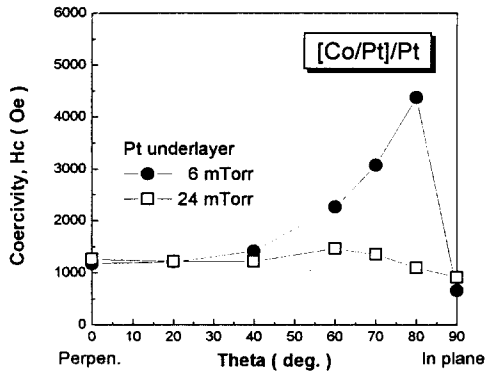


Fig. 6. Effect of sputtering pressure of underlayers on the angular variation of coercivity in $[Co(4\ Å)/Pd(10\ Å)]_{15}Pd(100\ Å)$ and $[Co(4\ Å)/Pt(10\ Å)]_{15}Pt(100\ Å)$ samples.

Fig. 2에 나타낸 시편들의 Kerr 회전각을 Fig. 7에 보였다. Fig. 7에 나타난 바와 같이 Kerr 회전각은 바닥층

의 종류 및 증착압력에는 그다지 의존하지 않는 것으로 나타났으며 Co/Pt 다층막이 Co/Pd에 비해 약 1.5배 큰 값을 나타내었다. 이는 잘 알려진 바와 같이 Co와 계면을 형성하는 Pt 원자의 오비탈 모멘트(orbital moment)가 Pd에 비해 크기 때문으로 생각된다[8].

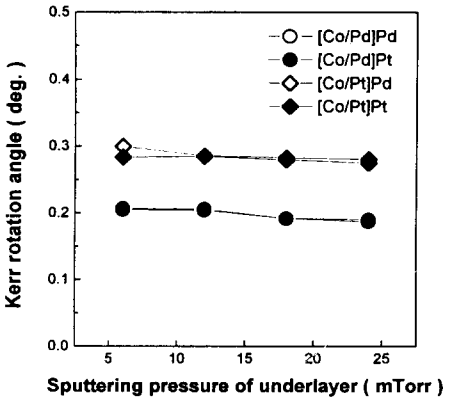


Fig. 7. Kerr rotation angle of Co/Pd and Co/Pt multilayers shown in Fig. 3. Kerr rotation was measured at 450 nm from the film side.

Ⅳ. 결 론

Co/Pd 및 Co/Pt 다층막 형성시 Pd, Pt 바닥층의 증착압력이 다층막의 보자력 및 자화거동에 미치는 영향에 대해 연구한 결과, Co/Pd의 보자력은 바닥층의 증착압력에 매우 민감한 것으로 나타났으며 Pd 바닥층의 증착압력을 6 mTorr에서 24 mTorr로 증가시킴으로써 다층막의 보자력을 1.2 kOe에서 5.0 kOe까지 증가시킬 수 있었으나 Co/Pt 다층막의 경우 보자력은 바닥층의 증착압력에 크게 의존하지 않았다. 바닥층의 증착압력이 증가함에 따라 다층막의 수직이방성 에너지는 일방적으로 감소하였으며 자화반전 기구도 자벽이동 주도에서 역자구의 핵생성 주도로 변화하였다. 바닥층의 종류 및 증착압력에 따른 보자력 변화와 자화반전 양상의 변화는 바닥층의 표면 형상 및 다층막 증착시의 계면상태 측면에서 설명할 수 있었다. 다층막의 Kerr 회전각은 바닥층의 증착조건에 민감하지 않은 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 과학재단의 우수연구센터인 서울대학교 신소재 박막가공 및 결정성장 연구센터의 연구비 지원으로 수행되었읍니다.

참 고 문 헌

[1] P. F. Carcia, A. D. Meinhaldt, and A. Suna, Appl. Phys. Lett., **47**, 178(1985).

[2] S. Hashimoto, and Y. Ochiai, J. Magn. Magn. Mater., **88**, 211(1990).

[3] Bruce M. Lairson, Jessie Perez, and Chandler Baldwin, IEEE Trans Magn., **30**(6), 4395 (1994).

[4] P. F. Carcia, and W. B. Zeper, IEEE Trans Magn., **26**, 1703(1990).

[5] P. F. Carcia, S. I. Shah, and W. B. Zeper, Appl. Phys. Lett., **56**, 2345(1990).

[6] P. F. Carcia, Z. G. Li, H. W. van Kesteren, M. T. Johnson, J. Magn. Magn. Mater., **145**, 231 (1995).

[7] P. F. Carcia, M. Reily, and Z. G. Li, IEEE Trans. Magn., **30**(6), 4395(1994).

[8] C. F. Brucker, J. Appl. Phys., **70**, 6065(1991).

[9] C. H. Chang, and M. H. Kryder, J. Appl. Phys., **75**, 6864(1994).

[10] T. K. Hatwar, and C. F. rucker, IEEE Trans. Magn., **31**, 3256(1995).

[11] H. -S. Oh, and S. -K. Joo, J. Kor. Magn. Soc., **5**, 655(1995).

[12] S. Honda, H. Tanimoto, and T. Kusuda, IEEE Trans. Magn, **26**, 2730(1990).

Relationship between Sputtering Pressure of Underlayer and M-H Behavior in Co/Pd and Co/Pt Perpendicular Magnetic Recording Media

H. S. Oh, B. I. Lee and S. K. Joo

Division of Materials Science and Engineering, Seoul National University

San 56-1, Shillim-dong, Kwanak-ku, Seoul 151-742, KOREA

(Received 14 June 1996, in final form 15 September 1996)

Co/Pd and Co/Pt multilayered thin films for perpendicular magnetic recording media were fabricated by sputtering method and the effects of the sputtering pressure during the formation of Pd or Pt underlayers on the magnetization behavior and coercivity of the multilayers were investigated. It was found that the coercivity of Co/Pd multilayers was strongly dependent on the sputtering pressure of underlayer and could be enhanced to a large extent merely by increasing the sputtering pressure of underlayer, while in case of Co/Pt films, the degree of coercivity enhancement by controlling the sputtering pressure of underlayer was almost negligible. Coercivity variation of Co/Pd and Co/Pt multilayers with the underlayer material and deposition pressure of underlayer could be well explained in terms of the interface roughness of multilayer films induced by underlayer topology, which could also be correlated to the change of perpendicular anisotropy energy and magnetic reversal feature with the sputtering pressure of underlayer. Kerr rotation angle was hardly affected by the preparation conditions of underlayers.