

스퍼터링 압력이 Co/Pd 다층박막의 자화반전 및 수직자기 이방성에 미치는 영향

오훈상 · 주승기

서울대 금속공학과

서울특별시 관악구 신림 2동 산 56-1

서울대학교 신소재공동연구소 전자재료실험실

(1994년 8월 18일 받음, 1994년 9월 15일 최종수정본 받음)

코발트 단위층의 두께가 2Å 및 4Å인 두 경우에 대해 막의 총두께가 약 200Å인 Co/Pd 다층막을 제조하였으며 이 때 스퍼터링 압력이 자화반전 및 수직자기이방성에 미치는 영향에 대해 연구하였다.

수직자기이방성 에너지가 최대치를 보이는 압력이 존재하였으며 2Å 코발트층의 경우 4Å 경우보다 낮은 압력에서 최대치가 나타났다. 자화시 자구벽 이동은 압력이 높을수록 어려워졌으며 높은 압력에서는 자구벽 이동으로부터 자기모멘트 회전으로 자화반전기구가 바뀌었다. 또한 코발트층의 두께가 2Å인 경우가 4Å인 경우보다 수직자기이방성 에너지가 큰 것으로 나타났다.

I. 서 론

1985년 Carcia 등의 연구자들에 의해 [1] 스퍼터링으로 형성한 Co/Pd 다층막에 관한 연구결과가 처음 보고된 이후로, Co/Pd, Co/Pt 등의 코발트계 다층막에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 이같은 코발트계 다층박막은 강한 수직자기이방성 ($K_u > 10^6$ ergs/cc)을 나타내며 기존의 제 1세대 광자기 기록매체인 희토류-전이 금속 합금재료에 비해 내산화성이 뛰어난 뿐만 아니라 특히 파장 400~500nm 부근의 단파장 레이저 영역에서 큰 Kerr 회전각을 나타내기 때문에 [2] 차세대 광자기 기록매체 또는 고밀도 수직자기 매체 후보로 주목받고 있으며 Kerr 회전각 면에 있어서는 Co/Pt 다층막이, 보자력 면에 있어서는 Co/Pd 다층막이 더 유리한 것으로 알려져 있다 [3].

코발트계 인공초격자의 자기 및 광자기 특성은 형성방법 및 증착조건에 따라 매우 민감하게 변화하는 것으로 알려져 있다. 지금까지 코발트계 다층막 형성시 증착법에 따른 영향 [4], 코발트층과 비자성체층의 두께비율 [5] 및 막의 총두께 [6], 바닥층 및 결정성의 영향 [7], 스퍼터링으로 형성하는 경우 스퍼터링 압력과 [8] 스퍼터링 기체의 종류 [9]에 따른 특성변화 등 많은 연구결과가 보고된 바 있고 최근엔 직접 광자기 디스크를 제작하여 기록특성을 조사함으로써 실제 응용성을 타진하는 결과들도 보고되고 있으나 [10, 11] 근본적으로 코발트계 인공초격자에 있어 가장 중요한 자기적 특성인 강한 수직자기이방성 및 그 기원으로 알려져있는 계면이방성 그리고 보자력 기구

등에 대해서는 아직 명확한 이해가 이루어지지 않고 있다. 수직자기이방성에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 제시된 것으로는 계면의 명확성 (Interface Sharpness) 및 결정성이며 코발트층과 비자성체층간의 계면이 명확할수록 그리고 (111) 집합조각이 발달할수록 수직자기이방성이 큰 것으로 알려져 있다 [4, 7, 9].

스퍼터링의 경우 스퍼터링 압력이 다층구조에서 계면의 명확성 및 막의 미세조직에 큰 영향을 미치는 것은 이미 잘 알려져 있다 [8, 9]. 주승기 등 [12]은 거대자기저항을 보이는 인공초격자 형성의 경우 적절한 압력을 중심으로 이보다 낮은 압력에서는 이온 에너지가 크지만 플라즈마 밀도가 작으므로 인공초격자 계면에서의 섞임이 유도되며 높은 압력에서는 플라즈마 밀도가 높으나 이온에너지가 작아서 계면의 명확성은 유지되는 반면 층파동 (Layer Fluctuation)이 조장된다고 보고한 바 있다.

Co/Pd 다층막의 경우 형성방법 및 증착조건에 따라 약간씩 차이가 있으나 Co 단위층의 두께가 대략 8Å 이하인 경우 수직자화가 용이하다고 보고되었으며 [13] 특히 약 5~6Å 이하의 두께일 때 우수한 수직자기 이방성을 나타낸다고 알려져 있다 [5]. 또한 전체 막두께는 약 200Å 내외로 매우 얇은 경우 우수한 자기적 성질 뿐 아니라 광학적 간섭효과에 의해 큰 Kerr 회전각을 나타낸다고 보고된 바 있으므로 [14] 본 연구에서는 이러한 기존의 보고를 바탕으로 코발트와 팔라듐의 두께 조합 및 막의 총두께를 선택하여 계면상태 및 다층막의 미세조직에 가장 큰 영향을 줄 것으로 예상되는 스퍼터링 압력을 달리하며 Co/Pd 다층막을 제작한 후 초기자화 및 자기이력곡선과

수직자기이방성 에너지, 그리고 보자력의 각도 의존성 등을 조사함으로써 Co/Pd 인공초격자 다층박막에 있어서의 자화특성, 수직자기이방성의 변화와 자화반전기구에 대해 고찰하였다.

II. 실험방법

Co/Pd 인공초격자는 2개의 독립적인 타겟을 사용하는 고주파 마그네트론 스퍼터를 이용하여 형성하였다. 스퍼터링을 행하기 전 초기 진공도는 5×10^{-7} Torr 이하로 하였으며 스퍼터링 중 아르곤 압력은 5mTorr에서 20mTorr 까지 변화시켰다. 기판으로는 슬라이드 유리를 사용하였으며 메탄올과 아세톤으로 각각 10분간 초음파 세척하여 건조시킨 직후 스퍼터에 장입하였다. Co/Pd 다층구조의 형성은 기판고정대를 회전시키면서 컴퓨터 제어에 의해 0.1초 단위로 개폐가 자동조작되는 가리개를 이용하여 증착속도 측정에 의해 미리 계산된 일정시간 동안 기판을 플라즈마에 노출시킴으로써 코발트와 팔라듐이 교대로 쌓이도록 하였다. 타겟에 인가하는 투입전력은 코발트의 경우 50 W, 팔라듐은 20 W로 고정하였다. 코발트와 팔라듐의 증착속도는 압력에 따라 조금씩 달랐으나 대체로 $1 \text{ \AA}/\text{sec}$ 이하였으며 표 1에 스퍼터링 조건을 정리하여 나타내었다. 시편의 구조는 코발트 단위층 $x \text{ \AA}$ 과 팔라듐 단위층 $y \text{ \AA}$ 을 N번 반복적층한 다층박막의 경우 $[\text{Co}(x \text{ \AA})/\text{Pd}(y \text{ \AA})]_N$ 와 같은 방법으로 표기하였다. 코발트 단위층의 두께는 2 \AA 과 4 \AA 으로 하였으며 막의 총두께는 200 \AA 이 되도록 하였다.

시편의 자기적 특성분석은 시편진동자력계 (Vibrating Sample Magnetometer)를 이용하였다. 초기자화 곡선 및 자기이력곡선 측정, 그리고 보자력의 각도 의존성 등을 조사하였으며 수직 및 수평방향으로 측정된 자기이력곡선으로부터 수직자기이방성 에너지를 계산하였다[15]. Kerr 회전각은 Kerr 이력곡선 측정장치 (Kerr Hysteresis Loop Tracer)를 이용하여 780nm 및 532nm 파장에서 측정하였다.

Table I. Dependence of deposition rate on the Ar gas pressure during sputtering.

Ar Pressure ($\times 10^{-3}$ Torr)	Deposition rate ($\text{\AA}/\text{sec}$)	
	Co (50 W)	Pd (20 W)
5	0.90	0.96
10	1.08	0.80
15	0.79	0.70
20	0.69	0.60

III. 결과 및 고찰

자기이력곡선 및 초기자화곡선

스퍼터링 압력을 달리하며 제작한 $[\text{Co}(4 \text{ \AA})/\text{Pd}(10 \text{ \AA})]_{14}$ 구조의 Co/Pd 다층박막에 대해 수직 및 수평방향으로 측정된 자기이력곡선을 그림 1에 나타내었다. 모든 압력범위에서 수평방향보다 수직방향으로의 자화가 용이한 것으로 나타났으며 5mTorr에서 형성한 다층박막을 제외하고는 모든 시편이 우수한 각형비 (M_r/M_s)를 나타내었고 압력이 높아짐에 따라 수평방향으로는 점점 더 자화시키기 어려움을 알 수 있다. 또한 기존에 보고된 바와 같이 [8, 16] 압력이 높아짐에 따라 포화자화값은 단조감소하고 수직방향으로의 보자력은 단조증가하였다 (그림 2).

그림 1의 수직방향 자기이력곡선에서 자화반전이 시작되는 점, 즉 일방향 포화상태에서 역자구가 생성되기 시작하는 핵생성자계 (H_n) 부근에서의 자화곡선을 보면 5mTorr와 10mTorr에서 제작한 다층박막의 경우 자화반전이 비교적 급한 기울기를 가지고 신속하게 진행되는 반면에 15mTorr 이상에서 형성한 다층박막의 경우 매우 완만한 기울기를 가지며 자화반전이 시작되기 때문에 역자구의 핵생성자계를 정확하게 정의하기 어렵다. 이러한 현상은 자구벽 이동이 어렵기 때문에 나타나는 것으로 압력이 높을수록 자구벽 이동이 어려워짐을 알 수 있다.

그림 3에는 $[\text{Co}(4 \text{ \AA})/\text{Pd}(10 \text{ \AA})]_{14}$ 와 $[\text{Co}(2 \text{ \AA})/\text{Pd}(10 \text{ \AA})]_{17}$ 구조를 갖는 다층박막에 대해 수직 방향으로 측정된 초기자화곡선 (Virgin Magnetization Curve)을 비교하였다. 압력이 증가함에 따라 자기적으로 경해짐을 알 수 있으며 특히 동일한 압력에서 형성한 다층박막을 비교해 볼 경우 코발트 단위층의 두께가 4 \AA 인 다층박막보다 2 \AA 인 다층박막의 경우가 자화초기에 생성된 자구들의 성장이 더욱 심하게 방해받음을 알 수 있다. 동일한 압력에서 형성한 다층박막에 있어 압력에 의한 미세조직의 차이를 무시한다면 그림 3에 나타난 바와 같은 초기자화 곡선의 차이는 계면성질 및 수직자기이방성 에너지 차이에 의한 것으로 생각할 수 있으며 코발트계 다층박막에 있어 자구벽 이동을 방해하는 자기적 불균일영역인 Pinning Site는 주로 자성층인 코발트와 비자성체 간의 계면에 존재한다는 보고와 [17] 자구벽 에너지는 수직자기이방성에너지의 제곱근에 비례한다는 ($\gamma \propto \sqrt{AK_u}$, A: Exchange Constant) [25] 사실로부터, 산술적으로 약 20% 정도 더 많은 계면이 존재할 뿐만 아니라, 수직자기이방성 에너지 면에 있어서도 월등히 큰 값을 나타내는 (그림 5) 코발트 두께 2 \AA 인 다층박막의 경우가 4 \AA 인 다층박막에 비해 자구 성장이 어렵다는 것을 이해할 수 있다.

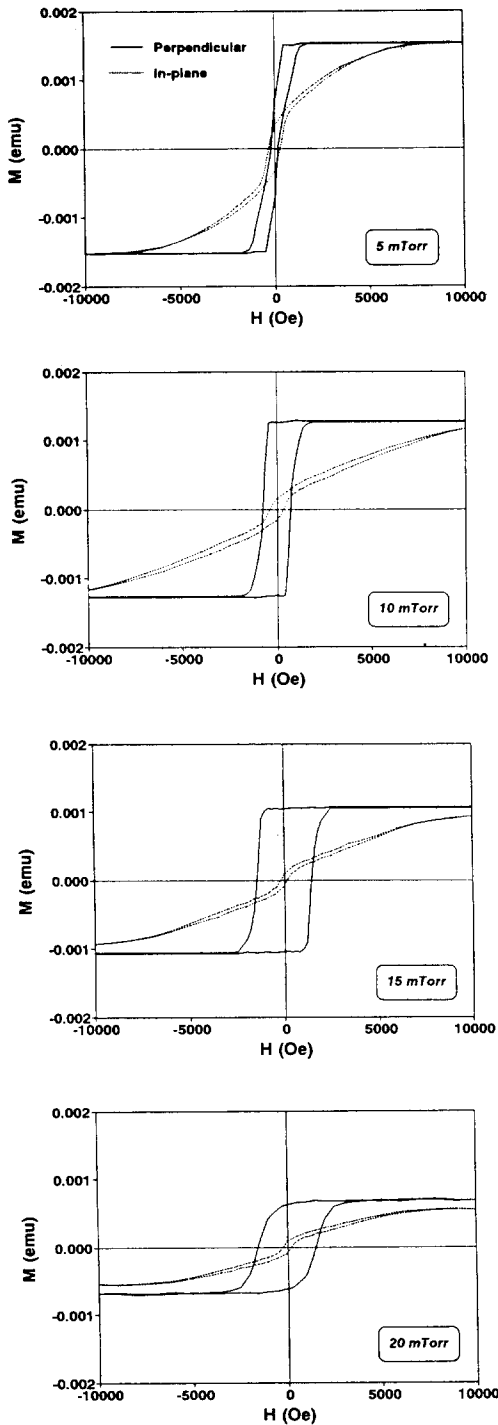


Fig. 1. Variation of M-H curves with sputtering gas pressure for $[\text{Co}(4 \text{ \AA})/\text{Pd}(10 \text{ \AA})]_{14}$ multilayer. Solid and dotted lines correspond to perpendicular and in-plane direction, respectively.

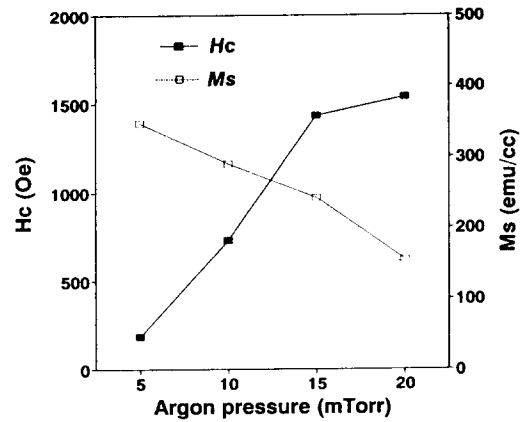


Fig. 2. Effect of sputtering pressure on the perpendicular magnetic coercivity and saturation magnetization value for $[\text{Co}(4 \text{ \AA})/\text{Pd}(10 \text{ \AA})]_{14}$ multilayer.

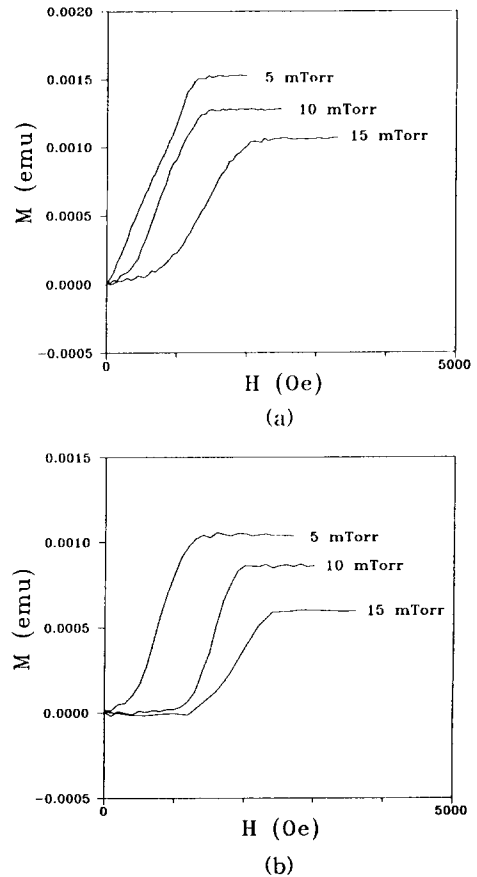


Fig. 3. Virgin magnetization curves of $[\text{Co}(4 \text{ \AA})/\text{Pd}(10 \text{ \AA})]_{14}$ and $[\text{Co}(2 \text{ \AA})/\text{Pd}(10 \text{ \AA})]_{17}$. (a) $[\text{Co}(4 \text{ \AA})/\text{Pd}(10 \text{ \AA})]_{14}$ (b) $[\text{Co}(2 \text{ \AA})/\text{Pd}(10 \text{ \AA})]_{17}$

자화반전기구

자화반전기구를 분석하기 위해 보편적으로 행하는 실험방법으로 보자력의 각도 의존성 (Angular Variation of Coercivity) 조사 및 회전이력손실 (Rotational hysteresis loss) 측정법이 있으며 [18] 본 연구에서는 자화용이축 방향 즉 수직방향으로의 자화반전기구를 알아보기 위해 보자력의 각도 의존성을 조사하였다 [19, 20, 21]. 즉 막면에 수직인 방향과 외부자장의 방향이 이루는 각도 θ 를 0° 에서 90° 까지 변화시켜가며 보자력을 측정하였으며 [Co(4 Å)/Pd(10 Å)]₁₄ 다층막에 대한 결과를 그림 4에 나타내었다. 그림 4(a)는 측정된 그대로의 보자력값이고 그림 4(b)는 자화용이축인 수직방향 즉 θ 가 0° 일 때의 보자력값을 1로 기준삼아 계산한 환산보자력 (Reduced Coercivity)이다. 일반적으로 단자구 형태의 자성체를 제외한 모든 자성체의 경우 자화반전은 자구벽 이동 및 자기모멘트 회전이 혼합된 형태로 나타나지만 재료의 제조방법 및 제조 이후 가공 등의 처리 조건에 따라 자구벽 이동 또는 자기모멘트 회전 중 어느 하나가 자화반전의 주된 기구로 작용할 수 있으며 강한 일축이방성을 갖는 자성 박막 또는 입자의 경우 자화반전의 주된 기구가 어느 것이냐에 따라 보자력의 각도 의존성이 다르게 나타난다. 그림 4(b)를 보면 10mTorr에서 제조한 Co/Pd 다층막의 경우 θ 가 약 40° 일 때까지는 보자력이 거의 변화하지 않다가 그 이후 급격히 증가하기 시작하여 자화곤란축에 가까운 각도에서 최대값을 이룬 뒤 감소함을 알 수 있는데 이는 자화용이축 부근에서 자화반전이 주로 자벽이동에 의해 일어남을 나타낸다 [21]. 그러나 20mTorr의 경우 이와는 대조적으로 θ 가 증가함에 따라 보자력은 거의 일방적으로 감소하고 있으며 이러한 경향은 자화용이축 방향에서의 자화반전이 자구벽 이동보다는 자기모멘트의 회전에 의해 주도됨을 나타내는 [21] 결과이며 자화곤란축 즉 θ 가 90° 일 때의 값이 0이 아닌 것은 측정된 시편이 단자구 형태의 재료가 아니기 때문이다 [22]. 압력이 15mTorr일 때는 10mTorr인 경우와 20mTorr인 경우의 중간형태의 모양을 띄고 있으며 자구벽 이동 및 자기모멘트 회전 중 어느 하나가 주된 기구로 작용하기 보다는 적당히 혼합되어 작용하는 것으로 생각된다.

이상의 결과들로부터 자화용이축 방향 즉 막면에 수직인 방향으로의 자화반전에 대해 생각해보면 압력이 낮을 때는 자벽 이동이 비교적 용이하여서 자화반전 초기에 생성된 소수의 역자구들이 별다른 어려움 없이 성장할 수 있기 때문에 대부분의 자화반전이 새로운 역자구의 생성보다는 초기에 생성된 소수 역자구들의 성장에 의해 이루어

어지지만 높은 압력에서 제작한 다층막의 경우 자구벽 이동이 심하게 억압받음에 따라 상대적으로 자기모멘트의 회전이 쉬워져서 자화반전 초기에 생성된 역자구들이 성장하기보다는 비교적 핵생성이 쉬운 지점을 우선적으로 하여 새로운 역자구들이 막 전체에 걸쳐 계속해서 생성됨으로써 자화반전이 진행된다고 사료된다.

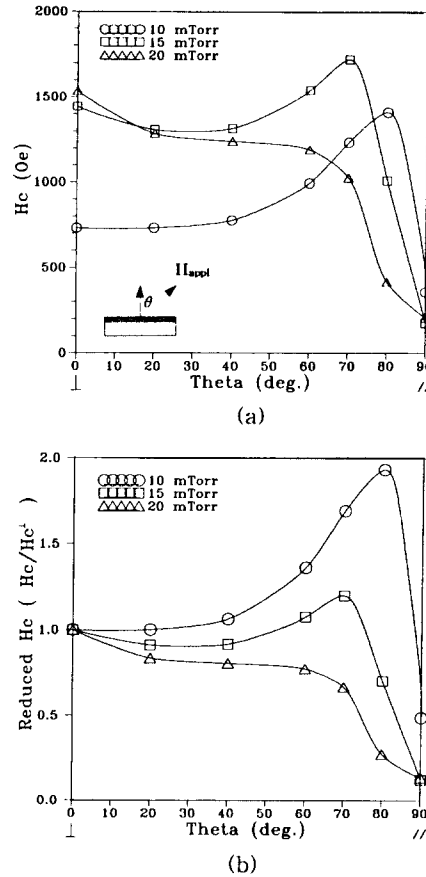


Fig. 4. Effect of sputtering gas pressure on the angular dependence of coercivity. Multilayer structure is [Co(4 Å)/Pd(10 Å)]₁₄
 (a) Coercivity versus θ (b) Reduced coercivity H_c/H_{c0} versus θ

수직자기이방성

그림 5에는 [Co(2 Å)/Pd(10 Å)]₁₇ 및 [Co(4 Å)/Pd(10 Å)]₁₄ 구조의 다층막에 대해 스퍼터링 압력에 따른 수직자기이방성 에너지 K_u^{Co} 의 변화를 나타내었다. 실험한 전압력범위에서 코발트 두께가 2 Å인 경우가 4 Å인

경우보다 큰 값을 나타내었으며 Co/Pt 다층막과는 다르게 [15] 증가했다가 감소하는 양상을 나타내었고, 수직자기이방성 에너지가 최대치를 나타내는 압력은 코발트 두께가 2 Å인 경우가 4 Å인 경우보다 낮았다.

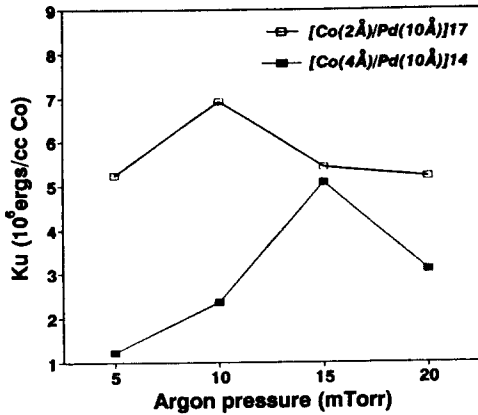


Fig. 5. Change of perpendicular magnetic anisotropy energy K_u^{Co} according to sputtering gas pressure.

스퍼터링시 수직자기이방성 에너지가 최대값을 보이는 압력이 존재하는 것은 S. Hashimoto 등이 연구한 CoPd 합금계에서도 보고된 바 있는데 [23] 그들은 Pd 조성이 약 50~80at% 인 영역의 CoPd 합금이 $\sim 10^{-4}$ 수준의 큰 자기변형 (Magnetostriction) 값을 갖는다는 사실로부터 자기변형상수와 스퍼터링 압력에 따른 박막 내 응력변화를 연결시켜 응력유도자기이방성 효과로 설명하였다.

수직자기이방성에 기여하는 응력유도이방성 에너지의 크기는 $K_u^{\sigma} = -\frac{3}{2} \lambda \sigma$ 로 표시되며 여기서 λ 는 자기변형상수, σ 는 박막에 작용하는 응력으로 다층막인 경우 증착시 막과 기판과의 접착에 따른 응력 및 코발트와 팔라듐과의 격자상수 차이에 의해 코발트 층에 인가되는 인장응력을 포함한다. CoPd의 경우 자기변형상수가 음의 부호를 가지므로 [24] σ 가 양의 값이면 즉 인장응력이 작용하면 K_u^{σ} 가 양의 값이 되어 수직자기이방성을 증가시키는 방향으로 작용한다. S. Hashimoto 등이 제작한 시편의 경우 약 10mTorr 근처에서 최대의 인장응력을 나타나기 때문에 수직자기이방성 에너지 역시 10mTorr 근처에서 최대값을 나타낸다고 설명하였다. 본 연구에서 제작한 시편이 한, 두원자층 정도의 매우 얇은 코발트 두께로 이루

어진 다층막이므로 균일한 합금막과 유사하다고 간주하여 합금막에 대한 위의 논리가 적용가능하다고 가정하면, 코발트 두께가 2 Å인 경우가 4 Å인 경우에 비해 훨씬 큰 수직자기이방성을 나타낸다는 것은 곧 더 큰 $\lambda \sigma$ 값을 갖는다는 것을 의미하는데, λ 값은 코발트 두께가 2 Å인 경우 (Co_{0.21} Pd_{0.79})와 4 Å인 경우 (Co_{0.35} Pd_{0.65})에 대응하는 조성을 갖는 CoPd 합금에 있어 λ 값은 크게 다르지 않으므로 (약 1~1.5배) [23] 코발트층에 인가되는 응력값이 많이 다르다는 것을 뜻하며 그림 5의 수직자기이방성 에너지의 차이로 볼 때 5mTorr 및 10mTorr의 압력에서 코발트 두께 2 Å인 경우가 약 2~3배 큰 인장응력을 받고 있다고 생각할 수 있다. 하지만 이에 대한 실험적 증거는 아직 얻지 못했으며 스퍼터링에 의한 Co/Pd 다층막 증착시 코발트 층이 받는 응력에 관해서는 보다 세심하고 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

한편 코발트계 다층막에서 코발트와 비자성층이 기판에 대해 평행하게 증착되어야 계면 이방성 에너지에 큰 기여를 할 수 있다는 보고에 비추어볼 때 [24] 높은 압력에서 수직이방성 에너지가 감소하는 것은 기존에 보고된 바와 같이 압력이 증가함에 따라 결정성이 저하되며 [8] 명확한 다층구조를 이루지 못한다는 [26] 사실 뿐만 아니라 압력증가에 따른 층과동 조장에 의해 [12] 기판에 대해 평탄하지 않은 다층막이 형성되기 때문으로 생각할 수 있으며 이의 확인을 위한 연구가 진행중이다. 또한 코발트 두께가 2 Å인 경우가 4 Å인 경우보다 더 낮은 압력에서 K_u^{Co} 가 감소하기 시작하는 이유는 코발트 두께가 2 Å인 경우가 더 낮은 압력에서 불명확한 다층구조로 전이하기 때문으로 사료된다.

표 2에는 본 연구에서 제작한 주요시편들에 대해 Kerr 이력곡선으로부터 측정된 자기 및 광자기 특성들을 간단히 정리하여 나타내었다.

코발트 대 팔라듐형 두께비율 및 총 코발트양이 거의 동일한 [Co(2 Å)/Pd(10 Å)]₁₇와 [Co(4 Å)/Pd(18 Å)]₉ 구조의 다층막을 비교해보면 Kerr 회전각은 거의 같은 값을 나타내지만 보자력 및 역자구의 핵생성 자계값에 있어 커다란 차이를 보이고 있으며 코발트 두께가 2 Å인 경우가 월등히 큰 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 표 2의 결과를 종합검토해볼 때 막의 총두께가 비슷할 경우 Kerr 회전각의 크기는 주로 막의 총자화량에 의존하지만 자기적 특성은 코발트와 팔라듐과의 두께 비율 즉 조성보다는 코발트의 절대 두께에 더욱 민감하게 변화하며 코발트 두께가 단원자층 정도의 두께일 때 가장 우수한 자기적 특성을 얻을 수 있는 것으로 생각된다.

Table II. Magnetic and magneto-optical properties of [Co(4 Å)/Pd(10 Å)]₁₄, [Co(2 Å)/Pd(10 Å)]₁₇ and [Co(4 Å)/Pd(18 Å)]₉ samples.

Film structure	Ar pressure (10 ⁻³ Torr)	M _r / M _s	Kerr rotation angle (deg.)		H _c (kOe)	* H _n (kOe)
			780 nm	532 nm		
[Co(4 Å)/Pd(10 Å)] ₁₄	5	0.44	0.20	0.35	0.23	-0.12
	10	1	0.19	0.37	0.85	0.72
	15	1	0.18	0.32	1.85	1.52
[Co(2 Å)/Pd(10 Å)] ₁₇	5	1	0.12	0.28	1.14	0.74
	10	1	0.11	0.29	2.50	2.18
	15	1	0.09	0.23	3.38	3.04
[Co(4 Å)/Pd(18 Å)] ₉	5	1	0.12	0.27	0.53	0.45
	10	1	0.11	0.29	1.88	1.62
	15	1	0.09	0.24	1.82	1.55

* : The sign of nucleation field (H_n) is defined as positive when the squareness (M_r / M_s) is unity.

IV. 결 론

스퍼터링 압력을 변화시켜가며 약 200 Å 두께의 Co/Pd 다층박막을 제조하여 자기적 특성을 분석하였다. 초기자화곡선 및 자기이력곡선 측정 결과 스퍼터링 압력이 증가함에 따라 자구벽 이동이 점차로 어려워짐을 확인할 수 있었고 압력을 고정한 경우엔 코발트 단위층의 두께가 2 Å인 경우가 4 Å인 경우보다 자구벽 이동이 더욱 심하게 방해받는 것으로 나타났다. 보자력의 각도 의존성 측정결과 압력이 증가함에 따라 자화반전 기구는 자구벽 이동 주도에서 자기모멘트 회전 주도로 변화함을 알 수 있었다.

수직자기이방성 에너지는 실험한 전압력범위에서 코발트 두께 2 Å인 경우가 4 Å인 경우보다 컸고 Co/Pt 다층박막과는 다르게 특정 압력까지는 증가하다가 그 이상의 압력에서 감소하는 것으로 나타났으며 수직자기 이방성이 최대값을 나타내는 압력은 코발트 단위층의 두께가 2 Å인 경우가 4 Å인 경우보다 낮았다.

코발트 대 팔라듐 두께 비율보다는 코발트 층의 절대 두께가 Co/Pd 다층박막의 수직자기이방성에 더 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

감사의 글

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

수행되었으며 이에 감사드립니다. 또한 시편의 Kerr 회전각 측정에 도움을 주신 한국과학기술원 재료설계연구실의 김순광 박사님, 이세광 박사님께도 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] P. F. Carcia, A. D. Meinhalt, and A. Suna, *Appl. Phys. Lett.*, **47**(2), 178(1985).
- [2] S. Hashimoto, Y. Ochiai, and K. Aso, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **28**(10), L1824(1989).
- [3] Y. Ochiai, S. Hashimoto, and K. Aso, *IEEE Trans. Magn.*, **25**(5), 3755(1989).
- [4] P. F. Carcia, S. I. Shah, and W. B. Zeper, *Appl. Phys. Lett.*, **56**(23), 2345(1990).
- [5] W. B. Zeper, F. J. A. M. Greidanus, P. F. Carcia, and C. R. Fincher, *J. Appl. Phys.*, **65**(12), 4971(1989).
- [6] S. Hashimoto, Y. Ochiai, and K. Aso, *J. Appl. Phys.*, **67**(9), 4429(1990).
- [7] C. -J. Lin, G. L. Gorman, C. H. Lee, R. F. C. Farrow, E. E. Marinero, H. V. Do, H. Notarys, and C. J. Chien, *J. Magn. Magn. Mat.*, **93**, 194(1991).
- [8] S. C. Shin, J. H. Kim, and D. H. Ahn, *J. Appl. Phys.*, **69**(8), 5664(1991).
- [9] C. F. Brucker, *J. Appl. Phys.*, **70**(10), 6065(1991).
- [10] S. Hashimoto, A. Maesaka, K. Fujimoto, and K. Bessho, *J. Magn. Magn. Mat.*, **121**, 471(1993).
- [11] W. B. Zeper, A. P. J. Jongenelis, B. A. J. Jacobs, H. W. van Kesteren, and P. F. Carcia, *IEEE Trans. Magn.*, **28**(5), 2503(1992).
- [12] S. Joo, Y. Obi, K. Takanashi, and H. Fujimori, *J. Magn. Magn. Mat.*, **104-107**, 1753(1992).
- [13] H. J. G. Draaisma, and W. J. M. de Jonge, *J. Magn. Magn. Mat.*, **66**, 351(1987).
- [14] 오훈상, 주승기, *대한금속학회지*, **32**(3), 344(1994).
- [15] S. Hashimoto, Y. Ochiai, and K. Aso, *J. Appl. Phys.*, **66**, 4909(1989).
- [16] H. Awano, Y. Suzuki, T. Yamazaki, and A.

- Itoh, IEEE Trans. Magn, **26**(5), 2742(1990).
- [17] T. Suzuki, H. Notarys, D. C. Dobbertin C. -J. Lin, D. Weller, D. C. Miller, and G. Gorman, IEEE Trans. Magn., **28**(5), 2754 (1992).
- [18] B. D. Cullity, *Introduction to magnetic materials*, Addison-Wesley(1972), p. 399
- [19] Li Chen-Zhang, and C. Lodder, IEEE Trans. Magn., **23**, 2260(1987).
- [20] S. Honda, T. Yamakawa, K. Takahashi, and T. Kusuda, Jpn. J. Appl. Phys., **27**(1), 47 (1988).
- [21] S. Honda, H. Tanimoto, and T. Kusuda, IEEE Trans. Magn., **26**(5), 2730(1990).
- [22] C. Byun, J. M. Sivertsen, and J. H. Judy, IEEE Trans. Magn., **22**(5), 1155(1986).
- [23] S. Hashimoto, Y. Ochiai, and K. Aso, Jpn. J. Appl. Phys., **28**(9), 1596(1989).
- [24] P. F. Carcia, Z. G Li, M. Reilly, and W. B. Zeper, J. Appl. Phys., **73**(10), 6424(1993).
- [25] B. D. Cullity, *Introduction to magnetic materials*, Addison-Wesley(1972), pp. 288~292.
- [26] Ping He, Z. -S. Shan, John A. Woolam, and D. J. Sellmyer, J. Appl. Phys., **73**(10), 5954 (1993).

Effects of Sputtering Pressure on the Magnetization Reversal Process and Perpendicular Magnetic Anisotropy of Co /Pd Multilayered Thin Films

Hoon-Sang Oh and Seung-Ki Joo

*Dept. Metallurgical Engineering, Seoul National University Electronic Materials Laboratory,
Center for Advanced Materials Research San 56-1, Shinlim-dong, Kwanak-gu, Seoul, Korea, 151-742*

(Received 18 August 1994, in final form 15 September 1994)

200 Å thick Co /Pd multilayered thin films were fabricated by sputtering. Two thicknesses of cobalt sublayer, 2 Å and 4 Å were chosen and the effects of sputtering pressure on the perpendicular magnetic anisotropy were investigated.

It has been found that the optimum pressure for maximum perpendicular magnetic anisotropy(PMA) existed and the pressure for maximum PMA was lower for the multilayer with 2 Å cobalt layer than that with 4 Å cobalt thickness. As the sputtering gas pressure increased, domain wall motion with magnetization became difficult and the predominant mode of magnetization reversal changed from domain wall motion to magnetic moment rotation.

It turned out that the perpendicular magnetic anisotropy was higher in case of 2 Å cobalt thickness than 4 Å cobalt thickness.