

## Co<sub>1-x</sub>Pd<sub>x</sub> 합금의 Pd함량과 스퍼터 기판온도에 따른 자기적 특성변화

### Influence of Pd Contents and Substrate Temperature on the Magnetic Property in Co<sub>1-x</sub>Pd<sub>x</sub> Films

이기영\*, 송오성

(Kiyung Lee\* and Ohsung Song)

#### Abstract

Co-Pd alloy thin films prepared by a DC-sputter that have self-organized nano structure(SONS), are promising for high-density information storage media in information era. We prepared the samples by varying Pd contents of 0~8.1 wt% at the substrate temperatures of room temperature (RT) and 200 °C, respectively. Microstructure and Pd contents of the Co<sub>1-x</sub>Pd<sub>x</sub> films are probed by a scanning electron microscope (SEM), a transmission electron microscope (TEM) and an energy dispersive spectrometer (EDS). We also investigated the saturation magnetization (Ms), remanence and coercivity of the Co<sub>1-x</sub>Pd<sub>x</sub> films. Surface roughness are measured by an atomic force microscope (AFM). We revealed that self-organized nano size Co-enriched phase and Pd-enriched phase existed with Pd contents at the substrate temperatures of RT and 200 °C through microstructure characterization. SONS helped to keep the saturation magnetization and enhance the perpendicular anisotropy with Pd contents. Our result implies that we may tune the perpendicular magnetic properties with keeping the saturation magnetization by varying substrate temperatures and Pd contents for high density magnetic recording.

**Key Words** : Self-organized nano structure, Co-Pd films, Substrate temperature, Pd contents, Sputtering

#### 1. 서론

정보화의 발달에 따라 대용량 정보저장 매체 및 방법이 요구되고 있다. 정보저장매체의 경우 기존 HDD (hard disk drive) 시스템의 발전이나 MO (magneto-optical disk) 시스템[1,2]의 증가에 따라 경제적이면서도 정보저장의 단위 크기가 나노정도

로 작아져서 100 Gbit/in<sup>2</sup> 이상의 기록밀도를 구현할 수 있는 매체의 개발이 필요하다. 현재 자성으로 기록과 재생을 하는 경우 수직기록이 유망한 방법으로 손꼽히고 있다.

이러한 배경에서 고밀도화에 따른 매체의 노이즈 증가와 결정립간 상호작용이 작은 패턴미디어 (patterned media) 의 개발이 관심을 끌고 있다[3].

기존의 반도체 사진식각공정기술과 CMP (chemical-mechanical polishing) 등의 신박막가공 기술을 이용한 패턴미디어는 탑다운 (top-down) 방식의 대표적인 실례로서 필연적으로 제작비의 증가를 가져와 비휘발성이면서 저비용이 필수적으로 요구되는 대용량정보저장매체로서의 요구를 충

\* : 서울시립대학교 신소재공학과  
(서울시 동대문구 전농동90 130-743,  
Fax : 02-2215-5863

Corresponding Author : sakylee@sidae.uos.ac.kr)  
2002년 10월 10일 접수, 2002년 12월 2일 1차 심사 완료,  
2003년 4월 15일 최종 심사완료

족시키지 못하는 단점이 있다.

반면 최근에는 표면응집현상을 이용하여 기판표면에 수 nm 크기의 양자점 (quantum dots) 을 형성시키는 자가조립형 (bottom-up형) 방법으로 추가적인 사진식각공정 없이 제작하는 경제적인 자가정렬형 나노구조 (self-organized nano structure : SONS) 가 주목을 받고 있다. 손병혁 등[4]에 의한 폴리머재료의 미세분리구조나 송오성 등[5,6]에 의한 CoCr계 자성합금박막에서 Co 강자성상과 Cr 상자성상의 조성적 상분리 현상은 SONS의 대표적인 예로써 비교적 간단히 공정요소만 조절하여 최종적인 SONS 구조를 조절할 수 있다는 점에서 대용량 정보저장장치용 매체로서의 가능성이 있다. 이러한 구조는 수직자기기록에 매우 이상적인 미세구조를 가지고 있다.

마에다 등[7]이 보고한 CoCr합금박막은 20 % 이상의 조성에서 수직이방성을 가지고 3000 Oe 이상의 보자력 (coercivity) 을 가지므로 차세대 고밀도 자기기록매체로 각광받고 있다. 또한 여기에 Ta등 제3원소를 추가하면 국화꽃 모양에서 구형의 Co-강자성 미세상으로 더욱 미세하게 조절이 가능하다고 보고하였다. 따라서 Ta와 비슷한 Pd, Pt, Rh, Ru 등 백금족 귀금속 원소들은 매우 안정하게 박막 내부에 분산하여 Co-강자성 상의 구형 미세화를 도울 수 있다고 예상되는 합금이라고 예상된다. 특히 Pd는 Co-Pd계의 인공초격자 구조에서 수직이방성 물질로 Co의 교환작용을 도와 수직이방성을 갖게하는 물질로 차세대 광자기 기록매체로 전망이 매우 밝다.

본 연구에서는 산업적으로 기존의 Co-Cr과 비교하여 새로운 Co-Pd 합금박막으로 고밀도 저장매체로서의 채용가능성을 확인하고, Co에 대해서 Pd를 이용한 SONS 발생이 가능한지 확인하기 위하여 기판 온도를 실온과 200 °C로 각각 유지시키면서 이 때 Pd 조성의 wt%를 달리하였다. 공정조건별로 자기적인 성질에 미치는 Pd의 영향을 분석하고, 또한 이들의 미세구조를 관찰하여 고밀도 기록매체로서의 가능성을 확인하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 $Co_{1-x}Pd_x$ 박막의 준비

2000 Å 두께의 열산화막이 형성된 직경 10 cm의 P-type(100) Si 기판을  $2.5 \times 2.5$  cm<sup>2</sup>의 크기로 절단하여 기판으로 사용하였다. 표면의 유기물이나

기타 이물질들을 제거하기 위하여, 아세톤에 담가 30분간 초음파 세척을 하고 70 °C의 에탄올로 세척한 후 이들 기판 위에 스퍼터링법으로  $Co_{1-x}Pd_x$  기판을 성막하였다.

스퍼터는 타겟직경이 2인치인 DC스퍼터를 사용하였다. 99.99 %Co 조성의 타겟 위에 0.5 cm × 0.5 cm의 99.995 %Pd 조각들을 1~4개 변화시키면서 배치하여 Pd가 혼입되도록 하고 기판의 온도를 실온과 200 °C로 유지시킨 상태에서 성막한 후 각 조건에서의 조성은 후후 조성분석을 통하여 확인하였다.

Pd 조각의 배치는 그림 1에서 나타낸 바와 같이 직경 5 cm의 Co타겟에 Pd를 배치시켰는데 특히 플라즈마 밀도를 높이기 위하여 영구자석이 부착된 부근에 집중되도록 하여 Pd의 혼입이 많도록 진행하였다. 이와 같이 배치를 하여 스퍼터링을 실시하여 얻은 시편의 조성은 Pd 조각의 갯수가 증가할수록 RT와 200 °C 모두 Pd의 함량이 약간씩 증가한다는 것을 확인할 수 있었다.

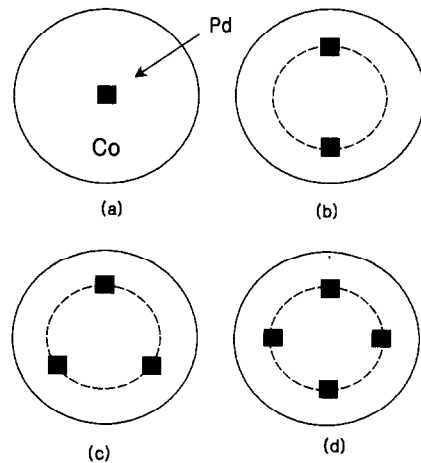


그림 1. DC sputter 내에서의 Pd조각의 배열.

Fig. 1. Array of Pd chips in a DC sputter. (a) chip (b) 2 chips (c) 3 chips (d) 4 chips.

스퍼터링 조건은  $1.0 \times 10^{-6}$  Torr의 기본 진공도에서 스퍼터링시  $5 \times 10^{-3}$  Torr(Ar gas)가 유지되도록 압력을 조절하여 30 W의 스퍼터링 파워를 유지하면서 100 Å/min의 증착속도로 20분간 성막하여 2000 Å두께의  $Co_{1-x}Pd_x$  박막을 제작하였다. 박막을 기판에 성막하기 전에는 모두 10분씩 pre-sputtering을 하여 스퍼터링 속도의 균일성을

유지했다.

### 2.2 Co<sub>1-x</sub>Pd<sub>x</sub> 박막의 분석

완성된 시편은 투과전자현미경 (transmission electron microscope) 으로 미세구조를 관찰하였다. 시편준비는 각 시편을 다이아몬드 절단기로 3 × 3 cm가 되도록 미세절단하고 후면 실리콘 기판부를 500 μm정도 제거한후 이를 밀도 중심부가 1000 Å 정도로 얇게 가공하여 미세구조를 관찰하였다.

미세구조 이미지외에 환형 전자회절도형을 찍어서 각 환들의 길이로부터 2θ 값으로부터 면간거리 d값을 결정하여 d의 배열에 가장 적합하게 상응하는 물질을 JCPDS X-선 카드에서 찾아 상종류와 정보를 확인하였다[8].

완성된 시편은 Lakeshore 사의 진동자력계 (vibrating sample magnetometer: VSM) 를 활용하여 각 시편의 평면방향 (in-plane), 수직방향 (perpendicular) M-H loops를 ±10000 Oe 범위에서 측정하였다. 측정된 M-H loops로부터 포화자화 (saturated magnetization: Ms), 보자력 (coercivity: Hc) 및 각형비 (remanence) 를 측정하였다. 포화자화는 각 시편의 두께를 주사전자현미경 (scanning electron microscope: SEM) 으로 수직단면 촬영하여 확인하고 시편의 가로, 세로, 두께를 곱하여 체적으로 보정한 emu/cc로 판정하였다.

시편의 두께와 성분은 JEOL사의 SEM (scanning electron microscope) 을 사용하였고 이에 부착된 EDS (energy dispersive spectrometer) 로 각각 분석하였다. EDS 분석에서 beam의 skin depth가 커서 실리콘 함량이 약 40 %정도 검출되었지만 실리콘 함량을 제외하고 Co와 Pd의 성분만을 백분율로 비례처리해서 표시하였다.

Co<sub>1-x</sub>Pd<sub>x</sub> 박막의 표면조도를 공정조건별로 측정하였다. 표면조도 측정은 PSIA사의 AFM (atomic force microscope) 을 사용하여 contact mode로 5 × 5 μm<sup>2</sup>의 범위에서 측정하여 기판온도의 변화나 Pd조성에 따른 변화를 확인하였다. Cantilever는 contact ultralever를 사용하였다.

### 3. 실험 결과 및 토의

그림 2에 Pd 조각의 개수 증가에 따른 조성의 변화를 EDS로 분석한 결과를 나타내었다. Pd 개수의 증가에 따라 거의 선형적으로 Pd는 8.1 wt% 까지 증가하였으며 기판온도가 200 °C인 경우도 동일한 값을 보였다. 따라서 Pd조성은 기판온도에

는 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있었고, 이 후 실험에서는 이 때 결정된 Pd조성으로 가정하고 자기 특성과 미세구조 분석을 진행하였다.

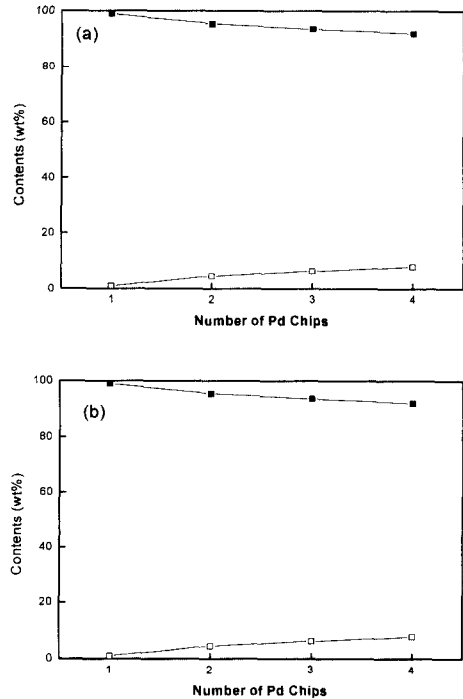
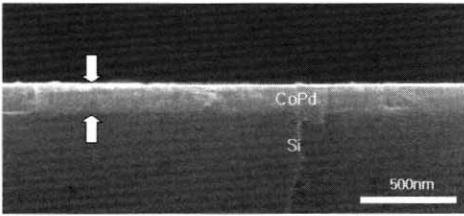


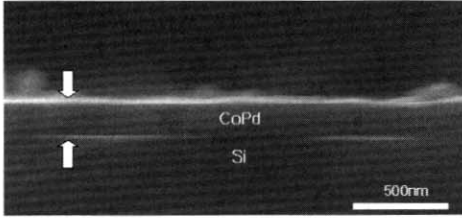
그림 2. 기판온도에 따른 박막에서의 Co와 Pd의 함량변화.

Fig. 2. Contents profile of films prepared at the substrate temperature (a) RT and (b) 200°C by EDS line scan. (■:Co and □:Pd)

그림 3에는 SEM으로 관찰한 Co-4 wt%Pd 시편들의 수직단면 이미지를 나타내었다. Fig. 3(a)의 기판온도가 실온인 경우가 (b)의 200°C 보다 증착 두께가 약 10 % 얇다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 기판의 온도가 높을 경우 스퍼터된 입자가 기판 표면에서 열적으로 활성화 되어 표면활성화가 어려운 실온 경우보다 빠른 증착속도를 보여주기 때문이다. 이러한 결과는 기판온도가 상승함에 따라 증착속도가 빨라진다는 보고[9,10]와 일치하고 있다. 따라서 최종적인 자기특성 판단은 증착속도에 따른 두께차이를 보정하여 정규화하였다.



(a)



(b)

그림 3. Co-4wt%Pd의 SEM 사진.

Fig. 3. SEM cross-sectional view of Co-4wt%Pd (a) RT and (b) 200°C.

그림 4에는 투과전자현미경으로 관찰한 Co-8.1wt%Pd의 수평 및 수직단면 이미지와 각 이미지의 우측상단에 전자회절도형을 나타내었다. 그림 4(a)는 기판온도가 실온인 경우의 수평 이미지로서 결정립의 방향에 따른 명암차로 결정립을 확연히 확인할 수 있으며 결정립의 평균직경은 6 nm이다. Fig. 4(b)는 기판온도를 200 °C로 유지한 경우로 결정립의 평균직경은 15 nm로서 실온의 경우와 비교하여 매우 컸다. 그림 4(c)는 기판온도를 실온으로 유지한 경우의 결정립의 수직단면 이미지이다. 역시 평균 직경 8 nm의 주상정의 결정립이 불규칙적으로 생성되어 있다. 평균 주상정의 폭은 16 nm이며 높이는 35 nm로 판단된다. 열산화막과 CoPd<sub>x</sub> 증착계면에 약 40 nm까지는 매우 미세한 결정립 형태로 성장하다가 이후에는 완전한 주상정으로 성장하는 것을 확인할 수 있었다. 그림 4(d)는 기판온도가 200 °C 일 때 수직단면 이미지이다. 이 경우 역시 결정립이 열산화 막과 CoPd<sub>x</sub> 증착계면에 약 30 nm까지 매우 미세한 결정립이 성장하다가 이후에 완전한 주상정으로 성장하는 것을 볼 수 있었다. 성장한 주상정의 평균 폭은 19 nm 높이는 45 nm로 실온과 비교하여 수직단면 구조는 거의 비슷하였다. 따라서 기판온도는 결정립의 크기에 큰 영향을 미치고 기판온도의 변화와 박막 두께로 결정립 크기의 조절이 가능함을 확인하였다.

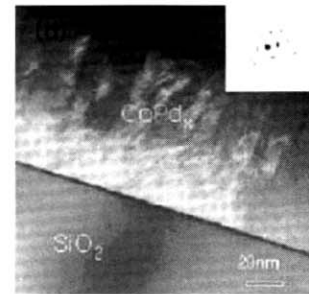
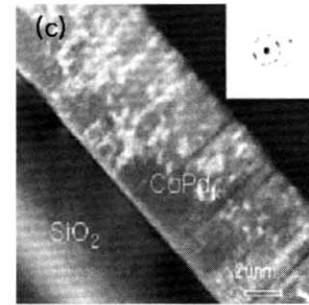
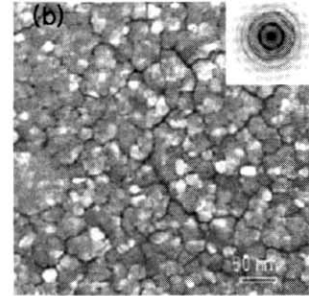
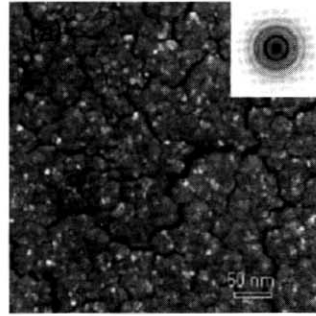
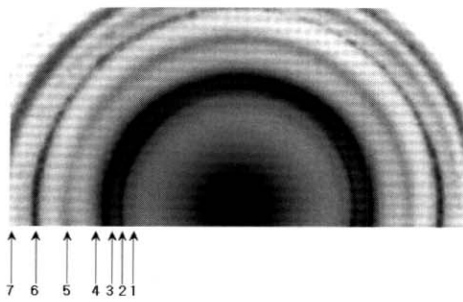
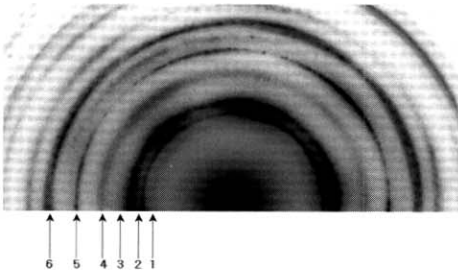


그림 4. 기판온도에 따른 Co-8.1wt%Pd TEM 사진.  
Fig. 4. TEM images of Co-8.1wt%Pd prepared at the substrate temperatures of (a), (c) RT and (b), (d) 200°C.



RT	1	(111)-Pd
	2	(100)-Co
	3	(002)-Co
	4	(101)-Co
	5	(220)-Pd
	6	(311)-Pd
	7	(110)-Co

(a)



200°C	1	(111)-Pd
	2	(111)-Co
	3	(200)-Co
	4	(220)-Pd
	5	(311)-Pd
	6	(311)-Co

(b)

그림 5. 기판온도에 따른 Co-8.1wt%Pd의 TEM ring pattern image.

Fig. 5. TEM ring pattern image of Co-8.1wt%Pd prepared at the substrate temperatures of (a) RT and (b) 200 °C.

그림 4 (a), (b)의 우측 상부의 전자회절 도형을 분석하면 기판온도에 관계없이 실온과 200 °C 모

두 Co와 Pd가 결정립상태로 존재한다는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 특히 기판온도가 200 °C 인 경우는 [111]방향의 텍스처(texture)를 가지고 있었다.

앞서 나타낸 그림 4의 전자회절도형을 확대하여 그림 5의 (a), (b)에 나타내었다. 각각의 전자회절도형에서 확인할 수 있듯이 (a), (b) 모두 결정립 상태로 Co와 Pd가 따로 검출되었다. 이러한 결과는 Co-Pd계는 이원계 상태[11]에서 확인할 수 있듯이 전용고용체로 존재하는 것으로 예상된 것과 달리, 본 실험에서는 모두 Co에 Pd가 전용고용되지 않고 Pd-과잉상으로 분리되어 존재하는 것으로 확인되었다. 그림 5(a)는 기판온도가 실온인 경우로, hcp 구조의 Co 상을 확인할 수 있었으며, 기판온도가 200 °C인 그림 5(b)에서는 Co-Cr계에서의 200 °C 이상의 기판온도에서 발생한 Co-과잉상과 동일한 fcc 구조의 Co 상을 확인할 수 있었다[7].

그러므로, 마에나[7] 등이 보고한 Co-Cr계에서는 200 °C 이상의 기판온도에서 Co-과잉상과 Cr-과잉상이 분리되어 나오지만, Co-Pd는 8.1 wt%까지 실온과 200 °C 기판온도에서 모두 Pd-과잉상이 존재한다는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 기판온도에 관계없이 Pd가 벌크상태와는 달리 서로 고용되지 않으며, Co는 기판온도가 증가하면 hcp → fcc 구조로 변화함을 알 수 있었다.

이를 근거로 Co-Pd 합금계 박막에서는 기판온도 변화로 Co 박막의 적층구조를 hcp, fcc로 선택적으로 변화시키는 것이 가능하였고, 특히 Pd를 완전 고용시키지 않고 분리상으로 자가정렬로 생성시키는 것이 가능하였다.

그림 6에서는 포화자화를 Pd가 첨가되지 않는 순 Co의 경우를 기준으로 Pd 증가에 따른 수평 포화자화변화를 표시하였다. Co의 포화자화 벌크상태에서는 1442 emu/cc로 알려져 있으나 본 실험에서는 박막의 양을 진동자력계 결과로 판단한 결과 800 emu/cc로 결정하였다. 박막에서의 포화자화는 공정조건에 따라 50~90 %의 포화자화를 보이는 것으로 알려져 있다. 한편 Co의 포화자화는 기판온도의 차와 거의 관계없이 비슷한 값을 나타내었으므로, Pd가 혼입처리안된 순수한 Co를 기준으로 정규화한 후 Pd조성의 변화에 따라 표시하였다. 그림 6에서 보듯이 스퍼터링시 기판을 실온으로 유지한 경우에는 Nagura 등[12]이 보고한 바와 같이 합금원소의 첨가가 증가함에 따라서 기준치의 30 %까지 포화자화는 감소하고 있다. 이는 Pd첨가

에 따라서 상자성 Pd가 강자성 Co에 고용되어 불순물로 작용하기 때문이라고 예상된다. 반면 기판 온도를 200 °C로 유지한 경우는 기판온도가 실온인 경우와 비교하여 Pd 증가에 따라 10 %정도 밖에 감소하지 않았다. 이는 전술한 바와 같이 Pd가 고용되지 않고 분리상으로 존재하며 Co-과잉상이 존재하는 간접적인 증거이며 기판온도가 커지면 이러한 상분리 현상도 더 크다고 판단되었다. 이러한 것은 Pd 합금 원소는 포화자화에 큰 영향이 다른 보자력이나 각형비를 조절하는데 효과적임을 의미한다.

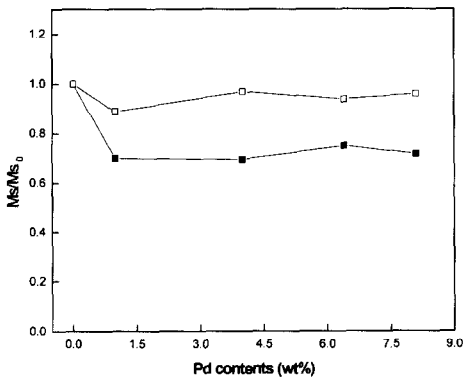


그림 6. Pd 함량과 기판온도에 따른 정규화된 포화자화의 변화.

Fig. 6. Normalized saturation magnetization as function of Pd contents and substrate temperature in-plane. (■:RT, □:200°C)

그림 7에는 M-H loops에서 측정된 각형비를 순 Co박막을 기준으로 정규화하여 표시하여 보았다. 그림 7(a)의 수평측정인 경우에는 기판온도가 200 °C인 경우에는 계속 감소하지만 실온인 경우에는 4 wt%Pd에서 한번 증가한 후 감소한다. 이는 Pd 양이 증가함에 따라 수직이방성이 향상되었음을 의미하는 간접적인 결과이고 그림 7(b)에서 나타난 수직측정인 경우도 Co<sub>1-x</sub>Pd<sub>x</sub>가 실온인 경우 수직이방성의 감소가 상대적으로 적음을 알 수 있었다. 이러한 결과에 근거하여 마에다 등[7]이 보고한 Co-Cr계에서 기판온도가 200 °C 이상 증가할수록 수직이방성이 향상된 것과 다르게, CoPd<sub>x</sub>합금에서는 실온과 200 °C 기판온도 모두에서 Pd의 첨가가 수직이방성 향상에 도움이 되었고, 이는 미세구조 분석에서 확인된 바와 같이 나노크기의 Co-과잉

상과 Pd-과잉상이 자가정렬적으로 형성되었기 때문이라고 추측되었다.

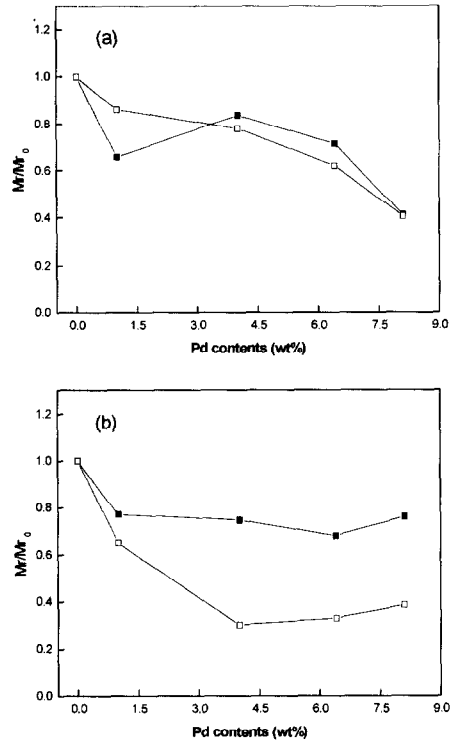


그림 7. Pd 함량과 기판온도에 따른 정규화된 각형비의 변화.

Fig. 7. Normalized remanence variations with Pd contents and substrate temperature (a) in-plane (b) perpendicular. (■:RT, □:200°C)

그림 8에는 Pd조성과 기판온도에 따른 수평, 수직 보자력의 변화를 나타내었다. 그림 8(a)의 수평 보자력은 400~450 Oe 범위에서 큰 변화가 없는 것으로 나타나 Pd의 첨가와 기판온도 변화는 수평보자력에 큰 영향을 미치는 않았다. 그림 8(b)의 수직보자력은 기판온도가 실온인 경우에는 700±50 Oe 정도로 큰 변화가 없으나 기판온도가 200 °C인 경우에는 1 wt%Pd의 경우 1400 Oe까지 급격히 증가했다가 감소하는 경향을 보이고 있다. Co-Cr계 수직기록매체는 약 3000 Oe 정도의 수직 보자력이 요구되고 있는데 비슷한 정도의 수직 보자력 향상을 위해서는 적합한 중간층의 개발이 필요함을 의미한다.

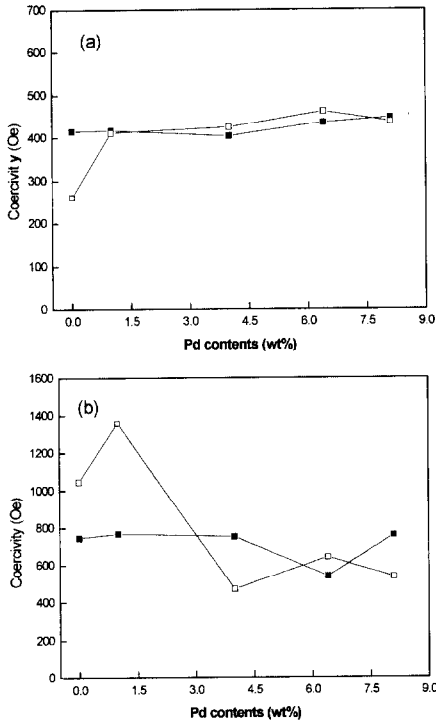


그림 8. Pd 함량과 기판온도에 따른 보자력의 변화.  
Fig. 8. Coercivity variations with Pd contents and substrate temperature (a) in-plane and (b) perpendicular. (■:RT, □:200°C)

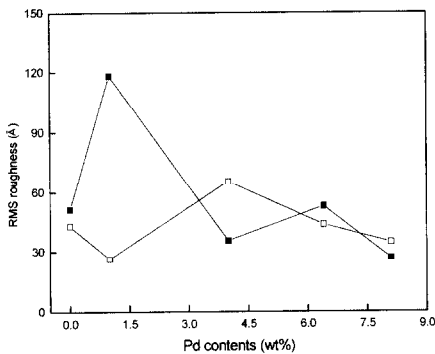


그림 9. Pd 함량과 기판온도에 따른 표면조도 변화.  
Fig. 9. The Plot of surface roughness versus Pd contents. (■:RT, □:200°C)

그림 9에는 Pd 조성과 기판온도에 따라 AFM 으로 표면조도를 측정 한 결과를 나타내었다.  $Co_{1-x}Pd_x$  는 금속박막이므로 평탄한 실리콘기판입

을 고려하여 기판온도가 실온이면서 1 wt%Pd인 경우를 제외하고는 모두  $50 \pm 20$  Å 정도를 보여 큰 영향을 미치지 않음을 보이고 있다. 박막의 경우 통상 기판온도에 따라 크게 영향받는 것으로 알려져 있으나 본 실험의 범위에서 기판온도 및 조성은 큰 영향을 끼치지 않았다고 판단된다.

#### 4. 결 론

$Co_{1-x}Pd_x$  합금박막은 0~8.1 wt% Pd 조성범위에서 스퍼터링 기판온도를 실온과 200 °C로 유지하여 미세구조와 자기적 특성을 확인하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Co-Pd 박막은 기판온도에 관계없이 전율고용되지 않고 나노크기의 Co-과잉상과 Pd-과잉상의 분리상으로 자가정렬적으로 생성이 가능하였다.
2. 기판온도를 변화시킴으로서 Co-상의 실온 hcp, 고온 fcc 으로 조절이 가능하였다.
3. Pd-과잉상의 존재로 Co-Pd 합금박막은 Pd의 증가에 따라 미소하게 포화자화가 감소하였고 특히 기판온도가 높은 경우에는 감소도가 작았다. 따라서 기판온도 상승은 자가정렬형 Pd-과잉상의 생성을 돕는 것으로 판단된다.
4. 형성된 미세 Pd-과잉상은 수직이방성 증가에 유리한 역할을 하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 특정기초연구(과제번호 R01-2000-00236) 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

- [1] E. Ganshina, V. Guschin, I. Romanov, A. Skobelev, and A.Tselev. "Co-Pd alloy films for magneto-optical recording", *Journal of Magnetism and Magnetic Material* 193, p. 174, 1999.
- [2] 최영준, "광자기기록 재료의 물성과 개발현황", *전기전자재료학회논문지*, 6권, 1호, p. 1, 1993.
- [3] 4. C. A. Loss, H. I. Smith, T. S.

- Schattemburg, M. Farhoud, M. Hwang, M. Walsh, M. C. Abraham, and R. J. Ram, "Fabrication of patterned media for high density magnetic storage", *Microelectronic Engineering*, Vol. 53, No. 67, 2000.
- [4] B. H. Sohn and B. H. Seo, "Fabrication of the Multilayered Nanostructure of Alternating Polymers and Gold Nanoparticles with Thin Films of Self-Assembling Diblock Copolymers", *Chem. Mater.* 13, p. 1752, 2001.
- [5] Ohsung Song and Youngmin Lee, "Magnetic property evolution of Co-22%Cr Alloy thin films", *Korean Journal of Materials Research*, Vol. 11 No. 12, p. 1042, 2001.
- [6] 송오성, 이기영, "기판온도와 Pd조성에 대한 Co-Cr-Pd자성 합금박막에서의 자기적 특성", *전기전자재료학회논문지*, 15권, 9호, p. 812, 2002.
- [7] Y. Maeda, S. Hirano, and M. Asahi, "TEM observation of microstructure in sputtered CoCr Film", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 24, L 951, 1985.
- [8] 성장모, "투과전자현미경학 개론", 반도체출판사, p. 76, 1997.
- [9] 이인우, 남옥현, 김문일, "TiN박막 성장거동에 미치는 증착온도의 영향", *한국열처리공학회*, 6권, 4호, p. 223, 1993.
- [10] 김진사, 신철기, 최윤식, 김충혁, 이준웅, "증착 온도에 따른 (Sr<sub>0.85</sub>Ca<sub>0.15</sub>)TiO<sub>3</sub>박막의 미세구조 및 전기적 특성", *전기전자재료학회논문지*, 12권, 9호, p. 756, 1999.
- [11] S. Nagasaki and H. Makodo, "二元合金狀態圖彙", *アグネ技術センタ*, p. 152, 2001.
- [12] H. Nagura, K. Saito, K. Takahashi and H. Fujimori, "Influence of third elements on the anisotropic magnetoresistance in permalloy films", *J. of Magn. and Mag. Materials*, Vol. 212, p. 53, 2000.