

# 전기화학적으로 제조한 CoPtP-X 합금의 첨가제 효과에 따른 맞춤형 자기적 성질

박호동 · 이관희<sup>†</sup> · 김공호 · 정원용 · 최동훈\* · 이우영\*\*

한국과학기술연구원 재료연구부

\*하이닉스반도체 메모리제조본부, \*\*연세대학교 금속시스템공학과

(2005년 3월 31일 접수 : 2005년 5월 12일 채택)

## The Effect of Additional Elements on the Tailored Magnetic Properties of Electrochemically Prepared CoPtP-X Alloys

H. D. Park, K. H. Lee<sup>†</sup>, G. H. Kim, W. Y. Jeung, D. H. Choi\*, and W. Y. Lee\*\*

Materials Science & Technology Division, KIST, Seoul 136-791, Korea

\*Memory manufacturing division, Hynix, Gyeonggi-do 467-713, Korea

\*\*Department of Metallurgical Engineering, Yonsei University, Seoul 129-749, Korea

(Received March 31, 2005 : Accepted May 12, 2005)

### 초 록

본 연구에서는 CoPtP 합금에 첨가원소로 Fe, Mn을 첨가하여 그에 따른 자기적 성질을 제어하고자 하였다. 우선 합금을 합성하기 위해서 용액 중 Fe, Mn의 농도를 변화시키면서 전기도금 방식을 이용하여 CoPtP-X (X=Fe, Mn) 합금을 제조하였다. Fe를 첨가한 합금박막에서는 X-선 회절분석 결과 Fe 함량이 증가함에 따라 CoPtP 합금의 수직방향으로의 우선결정방향이 조밀육방정 [001]방향에서 [100] 방향으로 변화함을 관찰하였고, 이에 따라 결정 자기이방성이 변화하여 전형적인 경자성 특성에서 연자성 특성까지 자기적 특성을 제어할 수 있었다. 용액 중 첨가된 망간의 농도를 변화시켜 제조된 CoPtP-Mn 합금박막에서는 Mn의 농도가 0.0126 M일 때 보자력(coercivity)과 각형비(squareness, Mr/Ms)가 각각 4630 Oe, 0.856의 매우 우수한 자기적 성질을 나타내었으며, 이는 Mn의 특정농도에서 CoPtP 합금박막의 우선결정 성장방향인 조밀육방정 c축이 박막면에 대하여 수직하게 놓이는 현상에서 기인된다는 것을 투과전자현미경 분석을 통해 확인하였다.

**Abstract :** CoPtP films with the additive elements (X=Fe, Mn) of varying concentrations were prepared by in-situ electrodeposition to tailor their magnetic properties. Alloys of CoPtP-X (X=Fe, Mn) were synthesized by changing the solution concentrations of Fe and Mn for electrodeposition. In the electrodeposited CoFePtP alloys, preferred orientation of the electrodeposited films changed from hexagonal [001] to [100] direction with increasing iron contents as revealed by X-ray diffraction, and these films exhibited various magnetic properties ranging from a typical hard magnetic to a soft magnetic property in accordance with microstructural variations. In the case of Mn addition, excellent hard magnetic property was observed at a specific Mn concentration of 0.0126 M in the electrolyte, with the coercivity of 4630 Oe and squareness of 0.856 and this was attributed to the fact that magnetization easy-axis (hexagonal c-axis) coincides with the preferred growth orientation of the film confirmed by transmission electron microscopy.

**Key words :** CoPtP, Additive, Electrodeposition, Preferred orientation, Magnetic properties.

### 1. 서 론

Iwasaki et al.<sup>1)</sup>에 의해 처음 제안된 수직자화 기록(perpendicular magnetic recording)방식은 기존의 수평자화 기록(longitudinal magnetic recording)방식의 기록밀도 한계를 극복

하고 차세대 첨단 기록매체로의 발전을 위해서는 필수적이라는 인식에서 전세계적으로 활발한 연구가 진행되고 있다. 최근에는 이와 관련되어 초고밀도 수직자화 기록재료(perpendicular recording media)를 구현하기 위하여 강자성 수직자화 합금에 대한 연구가 매우 활발하다. 특히 전기도금에 의한 제조방식은 CVD, MBE, evaporation, sputtering<sup>2-4)</sup> 등의 진공증착 기술이 가지는 고온, 고진공, 고가 공정의 한계를 극복할 수 있는 상

<sup>†</sup>E-mail: kwanhyi@kist.re.kr

온, 상압의 경제성이 뛰어난 방식이며, 대면적을 구현할 수 있어 기존기술의 대안으로 새롭게 각광받고 있다.<sup>5,6)</sup>

CoPtP 합금은 현재까지 전기화학적으로 제조된 강자성 재료 중에서 경자성 특성(hard magnetic property)이 가장 월등한 재료로 알려져 있으며, 수직자기이방성(perpendicular magnetic anisotropy)이 매우 커서 초고밀도 수직자화 기록재료로 매우 적합한 특성을 나타낸다. 그러나 CoPtP 3원계 합금은 합금의 조성분조절이 용이하지 않고 도금용액을 제조하는데 있어서도 각 시약의 선별이 쉽지 않아 제약이 많기 때문에 K. Nobe et. al.<sup>7)</sup>과 P. Cavallotti et. al.<sup>8-12)</sup>만이 합금화에 성공했다고 보고되고 있다. 이들 팀에서 제조된 CoPtP는 수직자화 보자력 3000 Oe, 각형비 0.5 정도의 자기적 성질을 나타내었다. 자체 합성한 복잡한 착화합물을 통해 합금화한 다른 연구 팀들과는 달리 본 연구팀에서는 간단한 상용 시약을 이용하여 CoPtP 합금을 제조하였으며, 자기적 성질에서도 기존 연구결과 보다 월등한 4000 Oe 이상의 수직자화 보자력과 0.6 이상의 각형비를 가지는 합금을 구현하고자 하였다.

또한 CoPtP 합금의 우수한 자기적 성질을 용도에 맞게 활용하기 위해서는 CoPtP 합금의 특성을 보강할 수 있는 첨가원소를 이용하여 자기적 특성을 제어하는 것이 필요한데, 이에 대한 연구는 거의 알려진 바 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 CoPtP 합금에 자기 모멘트가 큰 Fe를 첨가하여 포화자화 특성까지 향상시키기 위한 목적으로 CoPtP 합금 성분 중 Co의 일정 부분을 Fe로 치환하여 4원계 Co(Fe)PtP 합금을 제조하고자 하였다. 또한 Co계 합금은 높은 결정자기이방성을 갖는 조밀육방정 구조를 갖고 있기 때문에 강자성 재료로 널리 이용되어져 왔는데<sup>13-15)</sup> Mn, Pt, P, Mo, W, Bi 등과 같은 원소와 Co가 합금화하게 되면 이러한 원소들이 코발트의 결정립 계면에 집중되면서 보자력을 향상시키는 작용을 한다고 보고되고 있다<sup>7)</sup>. 따라서 Co를 주요원소로 하는 Co계 합금인 CoPtP에 Mn을 첨가하여 그에 따른 자기적 특성변화를 살펴보고자 하였다.

최근 들어 수직자화기록매체 외에도 MEMS 분야나 나노소자 분야에서 특정목적 구현하기 위하여 CoPtP와 같은 수직자화 합금에 대한 수요가 급증하고 있다. 본 연구팀에서는 이미 수직자화 강자성 재료로서 [CoPtP/Cu]<sub>n</sub> 나노다층구조 합금을 전기도금방식에 의해 제조하여 자기적 성질을 제어한 바 있으며,<sup>16)</sup> 본 연구의 첨가원소에 따른 자기적 효과를 체계적으로 확립함으로써 응용분야에서 원하는 자기적 성질을 나타내는 맞춤형 재료를 구현하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

CoPtP 합금 박막을 전기화학적으로 제조하기 위해서 3-전극 전기화학셀을 구성하였으며, 모든 실험은 40±0.1°C의 온도를 유지하고, pH는 8.4로 고정하여 진행하였다. 작업전극은 Si 웨이퍼(100) 위에 Au(2000 Å)와 Ti(200 Å)를 증착한 전극을 사용하였고 용액 중에 노출된 전극면적은 1 cm<sup>2</sup> (1 cm×1 cm)였다. 상대전극과 기준전극으로는 각각 고순도 코발트(99.9%) 평판과 포화 칼로멜 전극(SCE)을 사용하였다. 전류밀도는 5 mA/cm<sup>2</sup>으로 고정하여 교반 없이 실험하였으며, 전해질은 0.12 M의 CoSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 0.45 M의 Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, 0.01 M의 H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub>, 0.05 M의 NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>의 용액을 사용하였다. 첨가 원소로 사용된 Fe와 Mn은 용액 중에 각각 FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O와 MnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O를 0.006~0.025 M 범위에서 첨가하였다.

제조된 합금의 자기적 성질은 진동시료자력계(VSM, Lake Shore 7300, USA, 25°C)를 통하여 분석하였고, X선 회절분석기(XRD, Bruker D8 advance, Germany, 25°C), 투과전자현미경(TEM, Philips CM30, Netherlands, 200 kV) 등으로 미세구조와 결정학적 특성이 자기적 성질에 미치는 영향을 밝히고자 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

Table 1은 전기화학적으로 제조된 Co(Fe)PtP 합금의 용액 중 Fe 이온의 농도에 대한 실제 합금에서의 Fe 함량과 그에 따른 보자력의 값을 보여준다. Table 1에서 볼 수 있듯이 용액 내에 존재하는 이온의 농도와 실제 합금에서의 함량은 정확하게 비례하지 않음을 알 수 있다. 그러나 용액 중의 이온농도가 증가함에 따라서 합금의 함량 역시 증가하고 그에 따라서 자기적 성질이 급격하게 변화하였다. Fe의 함량이 증가함에 따라, 상대적으로 합금내의 Fe의 함량이 적은 4.3 at%에서는 수직방향으로 보자력이 2000 Oe 이상을 나타내어 전형적인 수직자화 경자성 합금의 특성을 보이고 있으며 Fe의 함량이 점차 증가함에 따라서 보자력이 급격하게 감소하여 합금내의 Fe 함량이 13.8 at%일 때는 보자력이 수직방향으로 470 Oe, 수평방향으로 25 Oe으로 감소하여 전형적인 연자성 특성(soft magnetic property)을 보이게 된다. 이러한 Fe 함량에 따른 자기적 성질의 변화는 Fig. 1에서 더욱 분명하게 알 수 있다. Fig. 1은 Fe 함량에 따

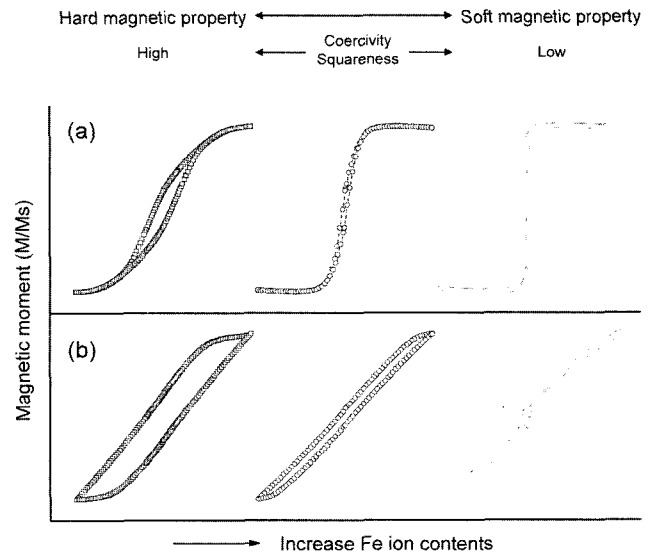


Fig. 1. The variation of the magnetic hysteresis loops of the electrodeposited Co(Fe)PtP alloys with the increase of the iron contents measured at the direction parallel(a) and perpendicular(b) to the film plane.

Table 1. Coercivities of Co(Fe)PtP alloys according to the ferrous ion concentrations in the electrolyte.

Ferrous ion concentration in the electrolyte (M)	Fe contents in alloys (at %)(measured by EPMA)	Coercivity (Oe)	
		H ⊥ film	H // film
0.006	4.3	2060	910
0.0125	7.5	820	240
0.025	13.8	470	25

른 Co(Fe)PtP 합금의 자기이력곡선(hysteresis loops)의 변화를 나타내었다. Fig. 1(a)는 박막면에 수평방향으로 측정된 자기이력곡선의 변화를 보여 주는데, Fe의 함량이 증가함에 따라 보자력이 감소하고 각형비가 증가하며, Fe의 함량이 13.8 at%일 때에는 Table 1에서 나타낸 값을 갖는 전형적인 연자성 특성(soft magnetic property)을 나타내고 있다. 또한 Fe의 함량이 적을 때는 박막면에 평행한 방향이 자화곤란 방향(magnetization hard direction)이다가 Fe 함량의 증가와 함께 점차 자화용이 방향(magnetization easy direction)으로 전환되고 있음을 자기이력곡선의 형상으로부터 알 수 있다. 이에 반해 박막면에 수직방향으로는 Fig. 1(b)에서 볼 수 있듯이 Fe의 함량이 적을수록 보자력과 각형비가 증가하고 Table 1의 Fe 함량이 4.3 at%일 때와 같이 전형적인 경자성 특성(hard magnetic property)을 나타낸다.

일반적으로 재료의 자기적 성질은 우선결정방향(PO: preferred orientation)과 같은 재료의 미세구조와 밀접한 연관이 있으며, 전기 도금된 합금도 같은 경향을 보인다. 기존의 본 연구팀의 연구결과에 따르면 도금용액에서 지지전해질로 사용된 NH<sub>4</sub>Cl 함량이 변함에 따라 CoP 합금의 미세구조가 변화되었고, 이에 따라 자기적 특성이 변화하였으며,<sup>17,18)</sup> 나노와이어에서도 동일한 경향을 보였다.<sup>19,20)</sup> CoPtP 합금도 주상정이 성장하지 못하도록 결정방향과 미세구조를 제어하면 자기적 성질이 변화한다.<sup>16)</sup> Fe가 첨가된 Co(Fe)PtP 합금 박막의 경우에도 우선결정 방향의 변화는 보자력이나 각형비와 같은 자기적 특성과 밀접하게 관련될 수 있으며, Table 1, Fig. 1과 같은 자기적 성질이 변하게 되는 원인을 알아보기 위해 Co(Fe)PtP 합금의 자화 용이방향과 합금 조직의 우선결정방향에 대한 분석을 하였다. Fig. 2는 Co(Fe)PtP 합금의 주요 XRD 회절패턴 강도변화와 그에 따른 결정성장 개략도를 보여 주고 있다. XRD 분석결과 Co(Fe)PtP 합금은 전형적인 조밀육방정 구조를 보여 주고 있으며, Co(Fe)PtP 합금의 미세구조가 Fe의 함량에 따라 변화였다. 상대적으로 낮은 Fe 함량(4.3 at%)에서 Co(Fe)PtP 합금은 Fig.

2(a)에서 볼 수 있듯이 [001] 방향으로 우선결정방위를 갖으면서 성장하고 있음을 알 수 있다. 이는 Co(Fe)PtP 합금의 자화 용이 방향인 조밀육방정 c축이 박막면에 수직하게 성장함을 의미한다. 상대적으로 높은 13.8 at%의 Fe가 함유된 합금에서는 Fig 2(c)에서 보듯이 결정방향이 [001] 방향에 비해 [100] 방향으로 우선 성장함을 알 수 있다. 이는 Co(Fe)PtP 합금의 조밀육방정 c축이 박막면에 수평하게 놓임을 의미하며, 자화곤란 방향인 [100] 방향이 박막면에 수직으로 우선 성장함을 의미한다. Table 2에서 볼 수 있듯이 Co의 자화용이 방향인 [001] 방향의 강도를 100으로 보았을 때 Fe의 함량 낮은 4.3 at%일 때는 [100] 방향의 강도는 9에 불과하지만 Fe 함량이 증가함에 따라서 [100] 방향의 XRD peak의 강도가 증가하여, Fe 함량이 13.8 at%에 이르러서는 [100] 방향의 강도가 213으로 크게 증가함을 볼 수 있다. 이는 박막면에 수직인 방향으로 높은 결정자기이방성을 나타내었던 Co(Fe)PtP 합금이 Fe 함량이 증가되면서 수직방향으로의 결정자기이방성을 잃게 되고, 박막면에 평행하게 c축이 성장하게 됨으로써 수직방향으로의 높은 보자력과 각형비는 사라지게 되고 박막면에 평행하게 자화용이 방향이 나타나게 되는 것이다. 위의 결과로부터 Fe의 함량이 증가함에 따라서 Co(Fe)PtP 합금의 자화용이 방향이 박막면에 수직인 방향에서 수평한 방향으로 변화됨을 볼 수 있으며, Co(Fe)PtP 합금

Table 2. Normalized XRD peak Intensity changes in the electrodeposited Co(Fe)PtP alloys with variation of iron contents.

Fe contents in alloys (at %)	Normalized Intensity (%)		
	I(10.0)	I(00.2)	I(10.1)
4.3	9	100	36
7.5	62	100	79
13.8	213	100	104
JCPDS	150	100	250

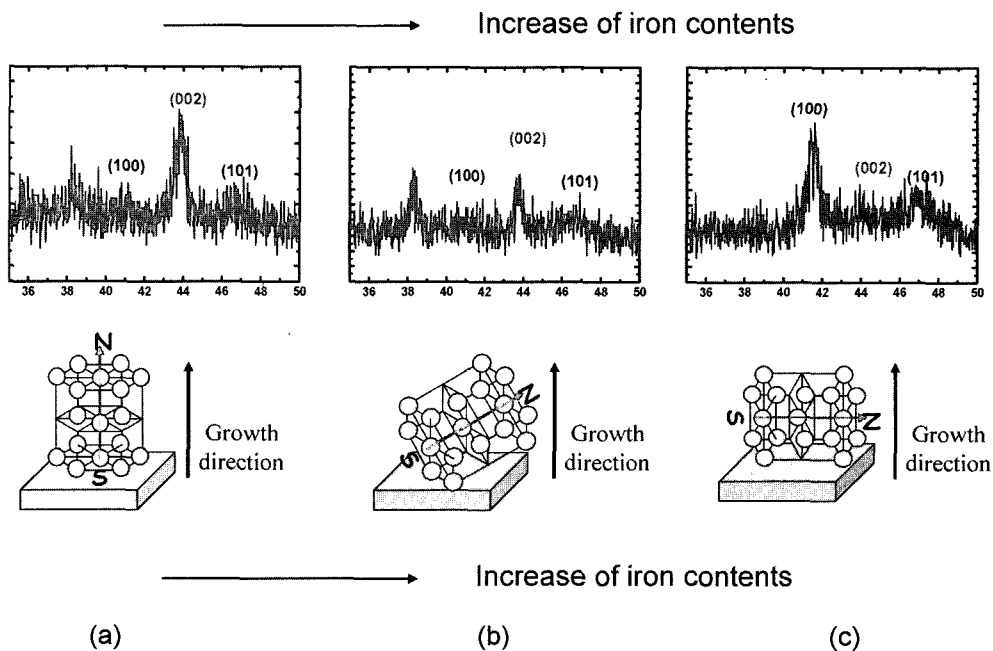


Fig. 2. XRD peaks and resulting preferred orientation of the electro-deposited Co(Fe)PtP alloys having an iron content of (a) 4.3 at%, (b) 7.5 at%, and (c) 13.8 at%.

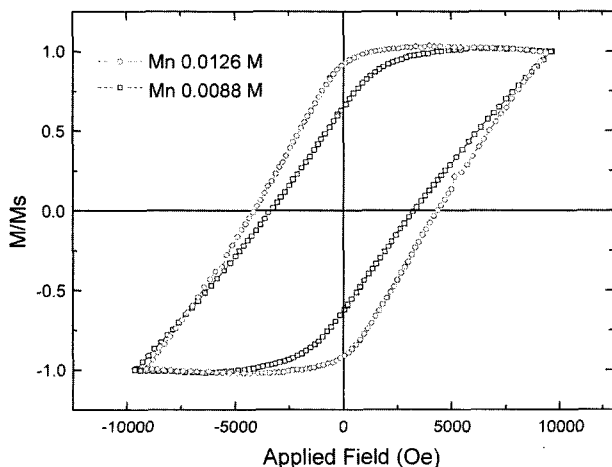
**Table 3. Magnetic properties of CoPtP alloys with different Mn contents in the electrolytes.**

Amount of added Mn (M)	Coercivity (Oe) (H ⊥ film)	Squareness
0.0063	3890	0.709
0.0088	3776	0.671
0.0126	4630	0.856
0.0164	3854	0.717
0.0214	3831	0.701
0.0252	3870	0.716

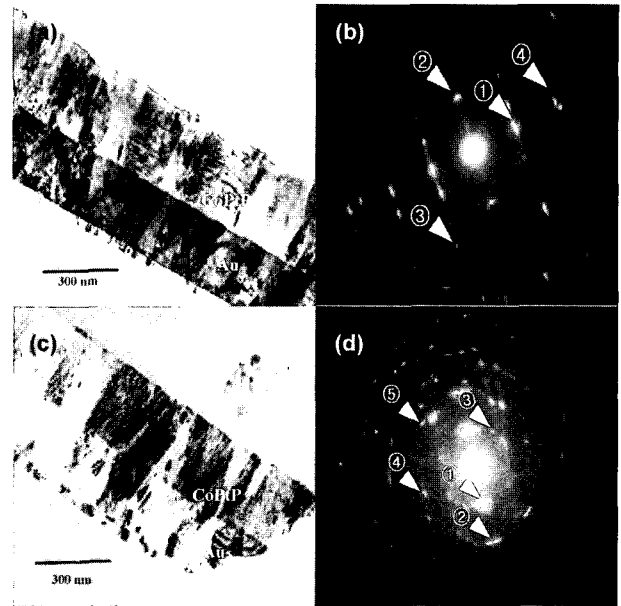
의 Fe 함량을 조절함으로써 전형적인 연자성에서 경자성 특성까지 모두 제어할 수 있음을 알 수 있다.

Table 3은 용액 중 Mn의 농도의 변화에 따른 CoPtP 합금박막의 보자력과 각형비의 값을 수차례 재현실험을 통해 나타낸 그래프이다. Table 3을 살펴보면 Mn의 농도에 따라 보자력의 값이 3800 Oe 부근의 영역에서 관찰 되었으나, 용액 중 Mn의 농도가 0.0126 M일 때는 보자력 값이 매우 크게 상승한 것을 볼 수 있다. 또한 각형비를 살펴보면 용액 중 Mn의 농도에 상관없이 대략 0.7 정도의 값을 보여주고 있으나, Mn의 농도가 0.0126 M일 때만 그 값이 크게 증가한 것을 관찰할 수 있다. Fig. 3에는 용액 중 Mn의 농도에 따라 CoPtP 합금의 박막면에 수직방향으로의 자기이력곡선을 비교하여 나타내었다. 용액 중 Mn의 농도가 0.0088 M에 비해서 Mn의 농도가 0.0126 M일 때의 합금박막의 수직방향으로의 보자력이 약 900 Oe 증가하였고, 각형비도 28% 증가한 것을 볼 수 있다. 이와 같은 자기적 성질의 변화가 조성 변화에서 기인하는지 규명하기 위해 EPMA(Electron Probe Micro-analyzer) 분석을 실시하였으나 조성의 분포는 용액 중 Mn 농도 0.0126 M일 때 Co:Pt:P= 85.49:12.88:1.35이고, Mn 농도가 0.0088 M일 때 Co:Pt:P= 85.55:12.73:1.72로 오차범위 내에서 동일하였다. 따라서 CoPtP 합금박막의 조성변화가 자기적 특성에 변화를 주지는 않았으며, 미세구조의 변화 여부를 살펴보기 위해서 TEM 분석을 실시하였다.

Fig. 4는 CoPtP 합금의 자기적 특성변화의 원인을 분석하기 위하여 CoPtP 합금의 단면을 TEM(Transmission Electron



**Fig. 3. Comparison of the magnetic hysteresis loops of the CoPtP films electrodeposited from the solutions containing Mn ion of 0.0126 M(O) and 0.0088 M(□).**



**Fig. 4. TEM images(a, c) and correspondent electron diffraction patterns(b, d) of the CoPtP alloys at different Mn concentrations : 0.0126 M(a, b) and 0.0088 M(c, d).**

Microscopy)으로 관찰한 것이다. Fig. 4의 (a)와 (c)는 각각 용액 중 Mn의 농도가 0.0126 M과 0.0088 M일 때의 CoPtP 합금박막의 TEM 단면 사진을 보여준다. 용액 중 Mn의 농도가 0.0126 M일 때 합금박막의 TEM 사진을 살펴보면, CoPtP 합금박막은 도금 초기 결정립의 성장이 박막면에 대하여 수직방향으로 규칙적으로 성장함을 볼 수 있고, 도금의 후기단계에서도 계속해서 초기방향과 같은 박막면에 수직방향으로 배향성을 갖으면서 규칙적으로 성장함을 알 수 있다. 또한 결정립 내부에 보이는 적층면의 방향이 박막면에 대하여 결정립 내부 전체에 걸쳐서 평행하게 배열되어 있다. 반면 Mn의 농도가 0.0088 M일 때에는 도금초기와 후기 모두 결정립이 박막면에 대하여 수직방향으로 배향성을 갖으면서 규칙적으로 성장하고 있으나, 결정립 내부의 적층면의 방향이 매우 불규칙하게 배열하고 있다. Fig. 4의 (b)와 (d)는 TEM으로 관찰한 전자회절패턴을 나타낸다. TEM 분석결과 CoPtP 합금박막은 조밀육방정 구조를 보여주고 있으며, 용액중 Mn의 농도에 따라 미세구조가 달라짐을 관찰하였다. Fig. 4의 (b)는 용액중 Mn의 농도가 0.0126 M일 때 CoPtP 합금박막의 회절 패턴으로 Table 4에서 볼 수 있듯이 ①의 (002) 방향의 회절강도가 가장 강하게 나타났으며 조밀육방정의 자화용이 방향인 c축이 CoPtP 결정립의 성장방향과 평행하게 박막과 수직으로 분포하고 있었다. 따라서 Mn의 농도가 0.0126 M일 때의 용액에서 제조된 CoPtP 합금박막은 c축이 박막면에 수직하게 우선결정방위를 갖으면서 성장함을 알 수 있었다. 반면 Fig 4의 (d)는 용액 중 Mn의 농도가 0.0088 M일 때의 CoPtP 합금박막의 회절패턴으로 ①의 (100)이 주로 나타나며 ③의 (002) 방향이 약하게 관찰되어졌다. 이는 자화용이 방향인 c축이 CoPtP 결정립의 성장방향과 수직하게 분포하는 영역과 평행하게 분포하는 영역이 함께 존재함을 의미한다. 특히 ①의 (100) 방향의 회절 강도가 ③의 (002) 회절강도 보다 더욱 강하게 나타나 있는 것으로 보아 c축이 박막면에 수직하게 분포하는 영역보다 평행하게 분포하는 영역이 더욱 많고, 따

**Table 4. Indexing of the electron diffraction patterns of Fig. 4(b) and 4(d).**

	Ring #	Inter-planar spacing (Å)	Index
			Cobalt(hex)
Mn 0.0126 M (Fig. 4(b))	①	2.0065	002
	②	1.9100	101
	③	1.0660	112
	④	1.0150	004
Mn 0.0088 M (Fig. 4(d))	①	2.1654	100
	②	1.0934	200
	③	2.0837	002
	④	1.2520	110
	⑤	1.1503	103

라서 (100) 방향으로 우선 결정방위를 갖으면서 성장하고 있음을 의미한다. 이러한 결정립 분포와 우선결정방위는 자기적 특성과 직접적으로 관련되어 Mn의 농도가 0.0126 M일 때의 CoPtP 합금박막의 보자력과 각형비가 다른 망간 농도에서 제조된 박막들에 비하여 더 높게 측정된 것을 증명할 수 있다. 하지만 전체시편에 대한 조성분석 결과에서 Mn이 검출되지 않았으며, 특정한 Mn의 농도에서만 우수한 자기적 성질을 나타내는 이유에 대해 Mn 이온이 함유된 수용액에서의 CoPtP 합금의 도금 메커니즘에 대해 좀더 연구되어야 한다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 응용분야에서 요구하는 맞춤형 강자성재료를 구현하기 위하여, 용액 중 첨가물의 농도를 변화시켜 CoPtP-X 합금박막을 전기도금방식으로 제조하였고, 첨가물에 따른 합금의 자성변화와 미세 구조적, 결정학적 특성 사이의 상호관계를 밝히고자 하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. Co(Fe)PtP 합금에서는 XRD 분석결과 Fe 함량이 증가함에 따라 합금의 우선결정방향이 [001] 방향에서 [100] 방향으로 변화함을 관찰하였고, 이에 따라 자기적 특성이 경자성 특성에서 연자성 특성으로 변화함을 확인하였다. 이는 Co(Fe)PtP 합금은 경자성 특성과 연자성 특성을 모두 이용할 수 있는 자성 박막으로 Fe의 함량 제어에 따른 독특한 미세구조를 이용하면 합금의 자기적 특성을 응용분야에 적합하게 나타내는데 매우 효과적임을 시사한다.

2. 용액 중 Mn의 농도를 변화시켜 전기도금으로 제조한 CoPtP 합금박막은 용액 중 Mn의 농도가 0.0126 M일 때 CoPtP 합금박막의 우선 결정방향인 c축이 박막면에 대하여 수직하게 놓여 있는 것을 TEM 분석으로 밝혀내었고, 이때의 박막의 수직인 방향으로의 보자력은 4630 Oe이고 각형비는 0.856인 아주 우수한 자기적 성질을 가지는 재료를 구현할 수 있었다. 이는 전기도금 시에 용액 중 첨가원소의 농도에 따라서 강자성 합금의 자기적 성질을 미세 구조적, 결정학적으로 제어함으로써 더욱 향상시킬 수 있음을 의미한다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 나노바이오-신기술융합(NT-IT)사업(나

노 정보소재 합성기술 개발, M1-0326-05-0000)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- S. Iwasaki and Y. Nakamura, "An analysis for the magnetization mode for high density magnetic recording", *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-2**, 1272 (1977).
- S. Wang and J.W. Harrell, "Magnetic properties of ordered CoPt/SiO<sub>2</sub> multilayer films", *J. Magn. Magn. Mater.*, **242-245**, 437 (2002).
- M. Abes, O. Ersen, D. Muller, M. Acosta, C. Ulhaq-Bouillet, A. Dinia and V. Pierron-Bohnes, "Effect of ion irradiation on the structural and magnetic properties of sputtered CoPt alloy", *Mater. Sci. Eng. C*, **23**, 229 (2003).
- M. Albrecht, S. Anders, T. Thomson, C.T. Rettner and M.E. Bestetti, "Thermal stability and recording properties of sub-100 nm patterned CoCrPt perpendicular media", *J. Appl. Phys.*, **91**, 6845 (2002).
- T. M. Liakopoulos, W. Zhang and C. H. Ahn, "Micromachined thick permanent magnet arrays on silicon wafers", *IEEE Trans. Magn.*, **32**, 5154 (1996).
- H. J. Cho and C. H. Ahn, "Electroplated Co-Ni-Mn-P-Based Hard Magnetic Arrays and Their Applications to Microactuators", *Proc. Electrochem. Soc.*, PV 2000, 495 (2000).
- N.V. Myung, D.Y. Park, M. Schwartz and K. Nobe, "Electrodeposited Hard Magnetic Thin Films for MEMS Applications", *Proc. Electrochem. Soc.*, PV 2000, 506 (2000).
- L. Callegro, E. Puppini, P.L. Cavallotti and G. Zangari, "Electroplated, high H<sub>c</sub> CoPt films: dM magneto-optical measurements", *J. Magn. Magn. Mater.*, **155**, 190 (1996).
- P.L. Cavallotti, N. Lecis, H. Fauser and A. Zielonka, "Electrodeposition of magnetic multilayers", *Surf. Coat. Tech.*, **105**, 232 (1998).
- G. Zangari, P. Bucher, N. Lecis, P.L. Cavallotti, L. Callegro and E. Puppini, "Magnetic properties of electroplated Co-Pt films", *J. Magn. Magn. Mater.*, **157/158**, 256 (1996).
- P.L. Cavallotti, A. Vicenzo, M. Bestetti and S. Franz, "Microelectrodeposition of cobalt and cobalt alloys for magnetic layers", *Surf. Coat. Tech.*, **169-170**, 76 (2003).
- P.L. Cavallotti, M. Bestetti and S. Franz, "Microelectrodeposition of Co-Pt alloys for micromagnetic applications", *Electrochim. Acta*, **48**, 3013 (2003).
- N.V. Myung and K. Nobe, "Electrodeposited Iron Group Thin-Film Alloys: Structure-Property Relationships", *J. Electrochem. Soc.*, **148**, C136 (2001).
- F. Lallemand, L. Ricq, P. Bercot and J. Pagetti, "Effects of the structure of organic additives in the electrochemical preparation and characterization of CoFe film", *Electchim. Acta*, **47**, 4149 (2002).
- L. Orlovskaja, E. Matulionis, A. Timinskas and V. Sukiene, "Electrocrystallization of magnetic Co-W-Mn films", *Surf. Coat. Tech.*, **135**, 34 (2000).
- K. H. Lee, G. H. Kim and W. Y. Jeung, "Epitaxial growth and magnetic properties of electrochemically multilayered [CoPtP/Cu]<sub>n</sub> films", *Electrochem. Commun.*, **6**, 115 (2004).
- K. H. Lee, G. H. Kim and W. Y. Jeung, "Correlation between magnetic properties of electrodeposited Co(P) and NH<sub>4</sub>Cl concentrations in the electrolyte", *Electrochem. Commun.*, **4**, 605 (2002).
- K. H. Lee, G. H. Kim and W. Y. Jeung, "Microstructure and magnetic properties of Co(P) alloys electrodeposited from ammoniacal solutions", *J. Kor. Inst. Met. & Mater.*, **40**, 805 (2002).
- K. H. Lee, Y. J. Kim and W. Y. Jeung, "Dimensional and Microstructural Dependence of the Magnetic Properties of the Electrodeposited Co(P) Nanowire Arrays", *Mater. Sci. Forum*, **437/438**, 45 (2003).
- K. H. Lee, G. H. Kim, Y. J. Kim and W. Y. Jeung, "Formation and Characterization of Self-ordered Ferromagnetic Nanowires by AC Electroforming", *Mater. Sci. Forum*, **437/438**, 499 (2003).