

코발트-철을 전해석출한 양극산화피막의 제작과 자기특성

강희우

주성전문대학 전자통신과

충북 청원군 북일면 덕암리 산4번지, 363-930

(1994년 2월 4일 받음, 1994년 3월 7일 최종수정본 받음)

코발트와 철의 이온을 혼합한 산성수용액 중에서, 알루미늄 양극산화피막에 전해석출하여 제작된 자성막은, 코발트조성이 증가함에 따라 발크합금의 경우와 마찬가지로 상전이(phase shifting) 하였다. 입자직경이 150 Å의 시료의 경우 조성이 25-35 at % Co에서 큰 포화자화, 고향자력, 큰 자기이방성 에너지 및 우수한 각형비 등에 기인하는 큰 자기에너지 적(BH_{max})이 얻어진다. 그러나 입자직경이 450 Å의 경우에는, 코발트가 50-70 at %일때 초기석출부에 강자성체인 FeC가 아주 강하게 배향하므로, 입자의 큰 형상이방성(수직자기이방성)이 없어지고 면내 방향의 자기이방성을 나타낸다. 그리고 같은 조성에서 초기석출부를 제거하여 FeC의 영향을 없앨때, 수직자기이방성이 회복되었다.

I. 서론

산성수용액 중에서 금속 알루미늄판을 양극산화하여 얻어지는 산화피막중에는, 막면에 수직으로 무수한 미세공(micro pore)이 생성되어있다. 이와같이하여 얻어진 산화알루미늄 피막은 기계적 강도가 크게 향상된다. 또 금속염의 수용액중에서 전해시키면, 금속이온의 환원에 의하여 포아중에 금속이 석출함으로 피막이 착색되기 때문에, 표면장식 및 하부금속의 보호를 위한 표면처리 기술로서 아사다[1] 이후, 공업적으로 널리 사용되어져 왔다. 한편, 이러한 피막의 포아중에 강자성금속을 전해석출시킴으로, 자성막으로서의 새로운 기능을 갖게하는 연구가 Morral, Brownlow 및 가와이등에 의하여 이루어졌다[2]-[4]. 그 결과 포아의 침상(needle-shaped)구조의 형상이방성에 기인한 고향자력을 막면에 수직으로 나타내어, 기본적으로는 수직자기기록용 매체로서 응용 가능성을 보고하였다.

그러나, 이러한 연구들은 산화피막의 극히 제한적인 조건, 즉 포아의 직경(pore diameter, 또는 particle diameter, D_p)이 100 Å 및 유공율(산화피막의 기본적 구조는, 한개의 육각형 단위셀(unit cell) 중에 한개의 포아가 생성되는데, 이때 단위셀의 체적에 대한 포아의 체적비를 나타낸다. 여기서 금속은 포아의 밑부분으로부터 충분히 채우도록 석출하기 때문에, 포아의 체적과 석출한 자성체 금속입자의 부피는 같은 것으로 간주하고, 이것을 보통 충전율(packing density, P 로 표시한다.)이 0.10 정도의 것으로, 양극산화피막의 기하학적 구조(포아의 크기 및 간격)가 자기특성을 결정하는 중요한 요인이 되

는 것을 고려할 때, 양극산화자성피막에 관한 연구는 아직 미흡하다고 볼 수 있다. 또 실제 응용을 고려할 때 자성막의 자화 값은 클수록 바람직하기 때문에, 보다 넓은 범위의 피막구조에 대하여 포아의 크기 및 충전율을 변화시켰을 때, 자기적 특성의 변화를 검토할 필요성이 있다고 생각된다.

따라서, 저자는 지금까지 입자의 크기를 150-1150 Å, 충전율을 0.13-0.43까지 변화시켜 작성한 철 및 코발트 석출막에 있어서 자기특성을 규명하고, 전해석출 조건을 제어함으로 자성막의 설계가 가능한 것을 보고하였다[5]-[7].

본 논문에서는, 큰 포화자화 M_s 를 갖는 코발트-철 합금에 착안하였다. 먼저 포아의 크기가 다른 알루미늄 양극산화피막을 작성한 후, 코발트 이온과 철이온을 혼합한 산성수용액 중에서 전해석출 시킴으로 양극산화자성막을 제작하였다. 그리고 합금조성의 변화에 따른 막의 결정구조 및 향자력, 자기이방성 에너지 등에 대한 기초적인 특성을 검토하였다.

II. 자성막의 제작 및 측정

시료의 제작을 위하여, 기판으로서 순도 99.99 %, 두께 95 μm 의 알루미늄판을 사용하였다. 양극산화를 실시하기 전에 표면의 지방분등 불순물을 제거하기 위하여 알칼리에침을 하였다. 양극산화는 그림 1과 같은 실험장치를 이용하였는데, 이때 생성되는 피막중 육각형기본셀의 직경은 양극산화전압에 비례하여 성장하게 된다. 본 연구에서는 20 V미만인 경우(D_p 는 200 Å 이하)에 황산수용액

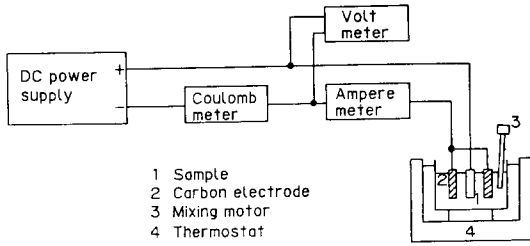


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental equipment for aluminum anodic oxidized film.

중에서, 20-60 V인 경우(D_b 는 450 Å)에는 수산수용액중에서 실시하였다. 산화피막의 두께는 흘려준 전기량에 비례하며, 또 수용액의 종류, 온도및 농도는 피막의 생성에 중요한 영향을 미치기 때문에, 먼저 피막의 생성을 실험적으로 구한후에 모든 시료의 두께를 5 μm가 되도록 전기량을 조정하였다. 육각형 셀의 크기가 증가함에 따라 포아의 크기도 약간은 증가하지만, 이상태에서 피막의 유공율은 0.10 이하로 너무 작다. 그러므로 포아의 크기 즉, 유공율(이 값은 pore-filling법[8] 및 SEM관찰에 의해 확인가능함)을 필요한 만큼 증대시키도록, 셀의 크기를 일정히 유지하면서 인산수용액 중에서 포아의 내벽만 용해시켰다. 포아의 밑부분과 금속알루미늄사이 존재하는 경계층(barrier layer)은, 양극산화전압 1 V당 12-14 Å 정도 생성된다[9]. 이것은 산화가 진행중에 있기때문에 반도체적인 성질을 갖고며, 그 두께에 비례하여 저항값이 증가한다. 그런데 이 경계층의 너무 큰 저항값은 금속이온이 환원석출 할때, 전류의 흐름을 방해하여 석출시간이 길어지거나, 포아 내부에서의 석출이 불균일하게되는 원인이 된다. 따라서, 여기서 모든 시료들은, 석출하는데 적당한 저항값을 갖도록 하기위하여 경계층을 100 Å 정도까지 얇고 균일하게 하기위하여, 다음과 같은 처리를 하였다. 즉, 인산수용액중에서의 정전류전해 전류밀도(약 30 mA/dm²)는 양극산화중의 전류밀도(0.2 - 1.0 A/dm²)에 비하여 대단히 작다. 따라서 위와 같이 일정한 전류가 흐르는 동안에, 경계층에 걸리는 전압은 점점 감소하면서 경계층은 전류를 끊는 시점에서의 전압(8 V)에 비례하여 얇아진다. 그림 2와 같은 장치에 의해 코발트와 철의 이온을 혼합한 산성수용액 중에서 코발트-철을 전해석출 하였다. 이렇게 제작된 자성막은, D_b 가 150 Å 및, 450 Å, P 는 0.2의 구조를 갖는다. 그런데, D_b 가 450 Å인 시료의 경우, 막의 제작시에 반드시 필요로 하는 경계층의 조정과정에서, 산화피막의 포아의 가장 밑부분에

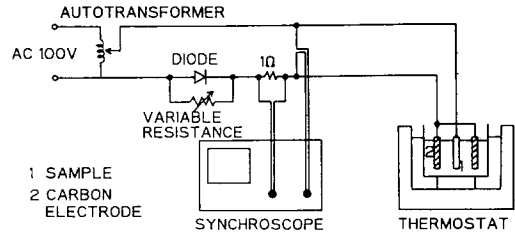


Fig. 2. Schematic diagram of the experimental equipment for electrodepositing of magnetic materials.

나무가지 모양(branch-shaped)의 부분(포아중 금속이 가장 먼저 석출하는 부분으로, 이하 초기석출부라 함)이 형성된다. 이 초기석출부는 처음에 설계한 피막의 구조보다 포아의 직경및 유공율이 증가하는 효과를 가져와, 자기특성에 영향을 미치는 것이 예상된다. 따라서 본 연구에서는 초기석출부가 존재할 경우와, 그 부분에 비자성체인 Cu를 석출하고 나머지부분에 코발트-철을 석출한 시료를 각각 제작하였다.

두께 5 μm로 제작된 자성막은 미세적으로 볼때, 산화막중에 생성된 수많은 미세공의 형상이 완전히 같을 수는 없다. 또, 전해가 진행되는 동안 도중에서 입자의 석출이 멈추는 경우도 있고, 그 현상은 석출길이 길면 길수록 심하다. 따라서 본 연구에 사용된 시료는 알루미늄 분말을 사용한 바프(buff)연마로 자성입자의 길이를 1.5 μm로 가능한 균일하게 한다음, 6 mmφ의 원반으로 하여 측정하였다. 결정구조와 배향성은 CoKα선을 사용한 XRD법으로 행해졌는데, 측정용 시료제작에 있어서 코발트-철합금의 회절선과 기관인 알루미늄으로부터의 회절선이 겹치게 된다. 따라서 알루미늄을 제거할 필요가 있다. 이를 위해서먼저 피막을 20 mm × 20 mm로 절단하고, 에폭시계 접착제를 사용하여 슬라이드 유리에 기포가 생기지 않도록 잘 붙여서 건조시킨다. 그리고 HgCl₂수용액중에 담가 알루미늄판을 제거한다. 이렇게 함으로써 자성피막만 남게되고, 자성막의 뒷면, 즉 포아의 밑부분으로부터 X선회절을 시킬수가 있다. 합금조성은 EPMA에 의해 분석하였으며, 자화는 시료진동형 자력계(VSM), 또 자기이방성은 토오코법에 의하여 구했다.

III. 결과 및 검토

코발트-철석출 양극산화피막에 있어서 석출입자의 결정구조를 조사하기 위하여 Co-Kα 선으로 X선회절 하였

다. 조성이 40 at%Co이고 D_p 가 200 Å, P 가 0.20의 피막 구조를 갖는 시료에 대한 예를 그림 3에 나타내었다. 그림에서 철의 bcc 결정구조중 (110)면이 강하게 배향하고

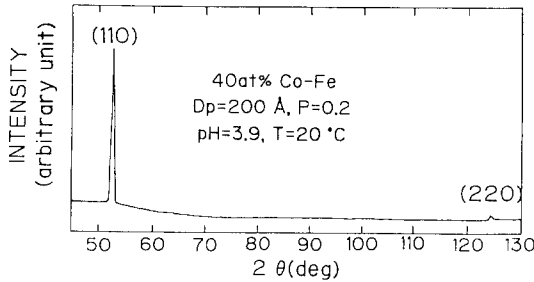


Fig. 3. An XRD pattern of the Co-Fe electrodeposited film.

있는 것을 알 수 있다. 또 (110)면의 X선 회절각으로부터 구한 막의 격자정수와, 발크인 경우의 코발트-철합금의 격자정수를 비교하여 그림 4에 나타내었다. 코발트가 87 at%까지는 bcc, 92 at% 이상에서는 코발트와 같은 육방

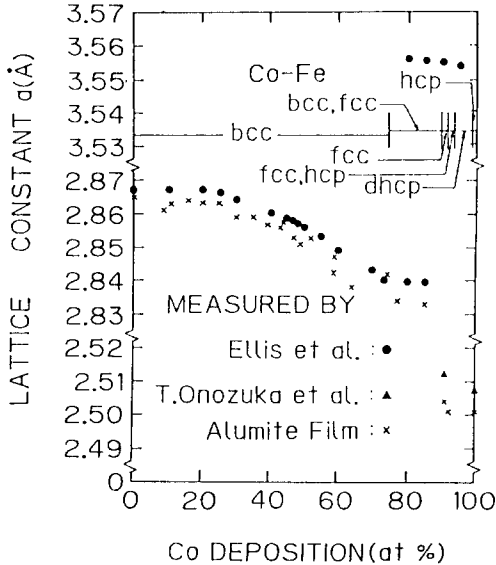


Fig. 4. The relationship between lattice constants and composition in Co-Fe electrodeposited films.

정인 hcp 구조를 갖는다. E. P. Wohlfarth에 의하면, 코발트-철 합금의 발크에서 결정자기 이방성은, 코발트 40

at%를 경계로 하여 정(+)에서 부(-)로 변하고, 자화 용이축은 [100]축에서 [111]축으로 전이한다[10]. 이때 bcc구조를 갖는 영역에서 결정자기이방성의 절대치는 철보다 작기 때문에, 철의 경우와 마찬가지로 코발트-철 합금의 결정자기이방성이 자기특성에 미칠 영향은 작다고 생각된다. 그러나 코발트가 이 조성보다 증가하면, 코발트의 결정자기이방성이 크게 영향을 미치는 것이 예상된다.

그림 5에 포아직경 D_p 가 150 Å, 충전율 P 가 0.20인 막

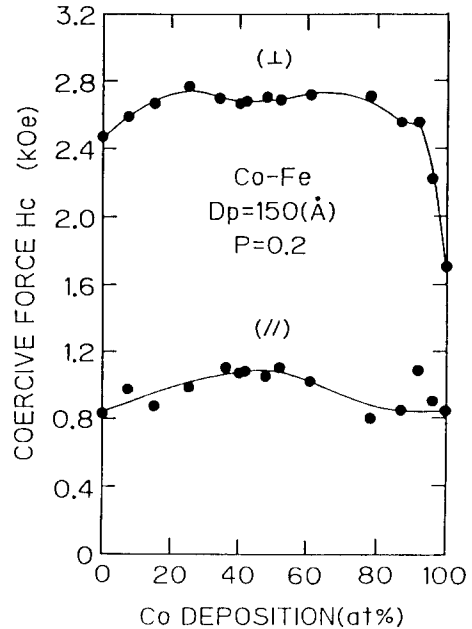


Fig. 5. The dependence of the composition on the coercive force H_c of the films with small pore diameter D_p of 150 Å.

에서, 코발트의 조성을 변화시켰을 때 항자력 H_c 의 관계를 나타낸다. 여기서 $H_c(\perp)$ 및 $H_c(\parallel)$ 는 막면에 대하여 수직과 수평방향에서 각각 측정된 것이다. 먼저 수직 방향의 항자력 $H_c(\perp)$ 은 30 - 80 at%Co에서 순철의 경우보다 높은 값인 2800 Oe를 나타낸다. 이 그림에서 항자력의 변화는 발크합금의 포화자화의 값의 변화와 거의 대응관계에 있음을 알 수 있다[10]. 결정배향은 XRD결과에 의하면, bcc 결정구조에서 (110)면에 대한 (200)면 및 (211)면의 강도비는 코발트조성에 의해 그다지 변화하지 않으나, hcp 영역의 시료에서는 이미 보고한 바와같이 [6], 자화용이축인 c 축이 막면내의 방향으로 기울어 질수

록 항자력이 감소하였다. 한편, 막면내 방향의 항자력 H_c (//)가 40 at%Co의 부근에서 증가하는 경향은, 결정의 특수한 배향에 기인한 것으로 추측되나 확인불가능 하였다.

일반적으로, 양극산화 자성피막과 같이 원주상의 입자 구조를 갖고, 비자성체인 산화알루미늄으로 자성입자가 완전히 분리되어 있는 경우 자성막의 자기이방성 에너지는, 주상입자의 형상에 의한 형상자기이방성 에너지, 입자와 입자사이의 상호작용에 의한 정자기(statomagnetic) 에너지 및 입자의 결정자기이방성에 의한 결정자기이방성 에너지의 합을 이론치로 나타낼 수 있다. 그런데, 코발트-철합금의 hcp결정구조를 제외한 영역에서의 결정자기이방성의 절대치는 철보다 작다. 따라서 본 연구에서는 결정자기이방성을 무시하고 형상자기이방성과 정자기 에너지만을 고려하여 계산하였다. 그림 5에서 설명한 것과 동일한 시료에 대하여, 자기이방성 에너지 K_u 의 조성 의존성을 그림 6에 나타낸다. 그림에서의 실선은 M. Masuda 등[12]이 제안한 방법, 즉 자성막의 구조(자성

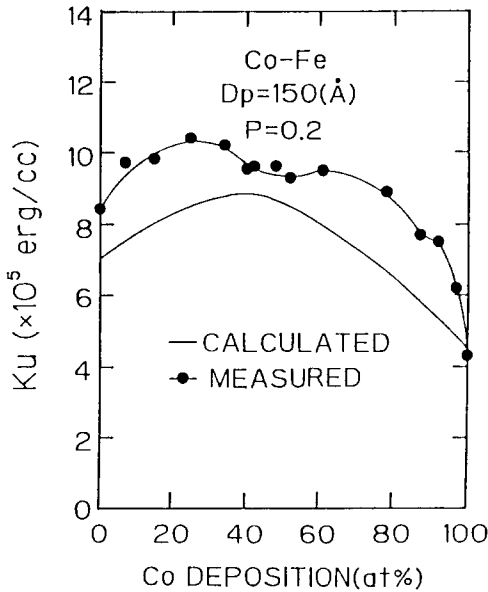


Fig. 6. The dependence of the composition on the magnetic anisotropy energy K_u of the samples used in fig. 5.

입자의 크기, 단위셀의 크기, 충전율)와, 항자력 및 포화자화등을 데이터로 하고, 감자계수를 고려하여 계산한 이론치를 나타낸다. 실측치는 80 at%Co이하의 조성에서

정보보다 크며, 코발트 30 at%에서 최대치인 10×10^5 erg/cc를 갖는다. 그림에서 자기이방성 에너지의 실측치와 이론적 계산치와의 차이는, 계산시에 적용한 정육각형의 단위셀속에 존재하는 이상적인 원주형 자성입자의 모델과, 실제 작성한 막에 있어서 석출입자의 형상 및 충전율의 차이를 예상할 수 있고, 이것이 그 원인의 하나가 될 수 있을 것으로 생각된다.

정보의 기록과 재생이 언제든지 가능한 일반적인 자기 기록 매체와는 달리, 로타리엔코더와 같이 정보를 일단 기록한 후 다시 기록할 필요가 없는 경우에는, 외부의 영향을 받지않도록 가능한 항자력이 높은 것이 필요하다. 그리고 엔코더의 자기드럼은, 기계적인 회전때문에 진동이 있어 드럼의 표면과 MR센서와의 거리는 100 μ m 정도로 대단히 커지고 이로인해 자기적 출력은 급격히 저하한다. 따라서 MR센서가 정보를 정확히 읽어 들일 수 있도록, 드럼의 출력을 증대시킬 필요가 있다. 이를 위하여서는 우수한 경자기특성, 즉 포화자화의 값이 가능한 클 것, 항자력 및 자기이방성이 클 것, 그리고 포화자화에 대한 잔류자화 값의 비가 클 것 등의 자기에너지 적(BH_{max})이 클 것이 요구된다. 이러한 점에서 생각할때, 코발트-철합금을 전해석출시킨 양극산화자성피막(D_p 가 150 \AA , P는 0.20일 때)은 표 I 과 같은 특성을 나타내며, 표 중에는

Table I. The magnetic characteristics of Co-Fe alloy electrodeposited films[7].

Composition (at% Co)	B_H (Oe)	H_C (Oe)	K_u ($\times 10^5$ erg/cc)	M_r/M_s	BH_{max} (MG Oe)	M_s (emu/cc)	Remarks
0	1750	2450	8.4	0.91	1.22	343	
25	1900	2700	10.4	0.94	1.37	379	$D_p=150 \text{\AA}$
34	1900	2700	10.2	0.90	1.44	385	$P=0.2$
40	1750	2670	9.5	0.86	1.29	386	$l=1.5 \mu\text{m}$
0	1040	2000	...	0.97	0.35	154	$D_p=150 \text{\AA}$ $P=0.09$ $l=50 \mu\text{m}$ Ref.[11]

참고적으로 현재 수직자기 기록방식의 고정밀 로타리 엔코더로 개발에 사용된 자성막(충진율이 0.09, 막두께 50 μ m)에 대하여도 비교하였다. 이 표에서 알 수 있는 것처럼, 포아의 크기가 작은 코발트-철합금 자성막은, 조성변화에 의해 항자력 및 자기이방성 에너지등의 제어가 가능하고, 큰 포화자화, 우수한 각형비 및 등의 경자기 특성이 얻어지기때문에, 로타리엔코더 및 박막자석 등에 적용될 수 있는 가능성이 충분하다.

그러나, 입자직경이 450 \AA 인 시료의 경우 전술한 것처럼

럼 석출입자의 밑부분에 초기석출부를 형성한다. 이것의 유무가 자기특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 초기 석출부에 Cu를 석출한 시료의 것과 비교하였다. 먼저 초기석출부를 그대로 둔 시료의 경우, 그림 7과 같이 자기이

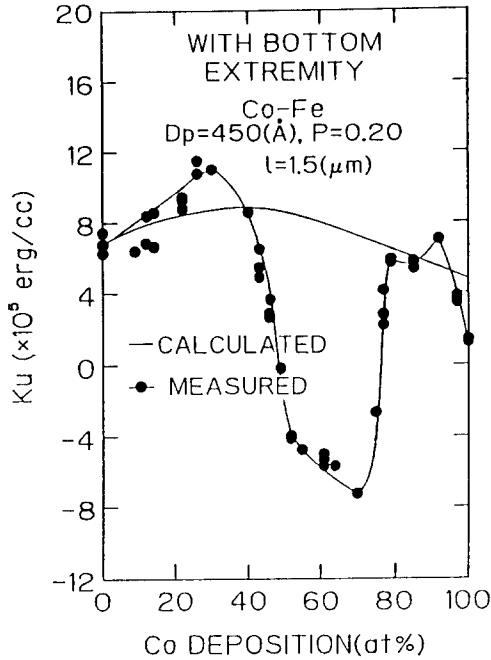


Fig. 7. The composition dependence of the anisotropy energy K_u for the samples with bottom extremity.

방성 에너지의 합금조성의 의존성에서 약 45 및 75 at%Co에서 거의 영으로 접근하고, 50-70 at%Co 조성에서는 값이 부(-)로 변하고 있다. 이것은 이 조성에서 코발트-철합금의 결정자기이방성이 자기이방성에너지에 미치는 영향이 크지않다고 예상되므로, 단순히 석출한 입자의 침상 구조를 고려할때, 막면에 수직방향으로 정(+)의 형상이 방성을 갖어야 타당하다. 그럼에도 불구하고, 그림과 같은 특성을 나타내는 것은, 코발트-철합금 이외의 무언가가 수직방향의 형상이방성을 감소시키는 반면에, 면내방향의 자기이방성을 증가시키도록 작용하고 있음을 의미한다.

이 원인을 규명하기 위해, 그림 7에서 수직자기이방성이 최대값을 갖는 조성 26 at%Co(a)와 (-)의 값을 갖는 60 at%Co(b) 및 70 at%Co(c)의 시료를 선택하여 XRD 조사를 하였다. 그 결과를 그림 8에 나타낸다. 그림

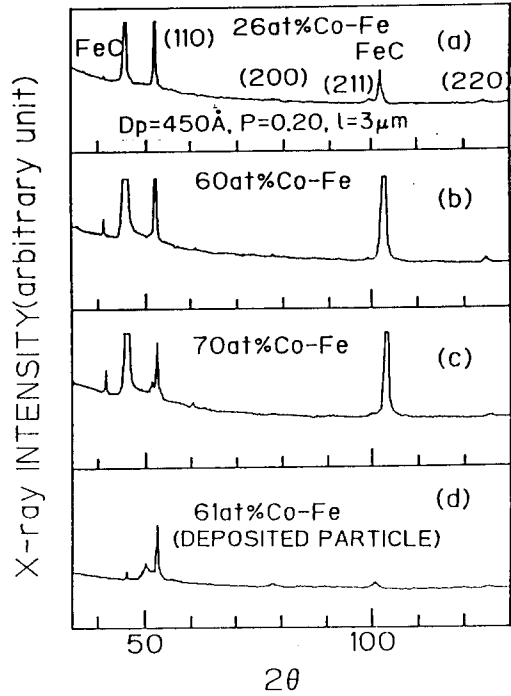


Fig. 8. The XRD patterns of the samples with bottom extremity.

에서 알수있는 것처럼, 코발트-철합금의 회절강도는 각 조성에 대하여 그다지 변화가 없지만, 코발트-철합금 이외의 금속인 FeC의 회절선이 검출된다. 이 금속의 배향 정도는, (a)의 시료의 경우에는 약하지만, (b)와 (c)의 시료에서는 면간격 2.29 Å과 1.14 Å의 피크($2\theta = 46^\circ, 103^\circ$)는 코발트-철합금의 (110)면에 비해서 대단히 강하다. 이것은 자성막면에 대하여 수직방향으로 조사한 것이고, 그림(d)의 무배향의 분말에 가까운 상태로 해서 조사한 시료와 비교해 보면, 이 금속석출은 너무나 강한 배향을 하고있다. 이 금속은 hcp 영역의 시료에서는 전혀 검출되지 않는 것으로부터 코발트보다는 철과 밀접하게 관계하고 있다고 추측된다. 이것은 XRD 피크치에서 구한 격자면 간격 d로부터 FeC인 것이 확인되었고, 또 H. C. Ectstrom and A. Adock에 의해 강자성금속으로 알려져 있다[12]. 그런데, 이 FeC는 D_p 가 200 Å 이하의 입자 직경이 작은 시료에서는 전혀 관측되지 않는 것이 특징이다. 여기서 카본이 석출하는 이유는, 비교적 큰 포아직경(450 Å)인 경우, 양극산화에 사용되는 수산수용액($\text{HOCOCOOH} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)중의 탄소가, 산화막을 작성하고 세정한 후에도 포아속에 미량 존재하여, 이것이 철이온과 함께 석출한다고 생각된다. 여기서 2개의 강한 FeC의 회

절선중에서 막의 자기특성에 영향을 미치고 있는 것은, 조성에 대한 회절선 강도의 변화로부터 알수있는 바와같이, 면간격 1.14 \AA ($2\theta = 103^\circ$)의 회절선이다. 그런데, 이 FeC는 D_p 가 200 \AA 이하의 자기이방성 에너지와 조성의 관계에서 특이한 점이 없었던 것으로부터, D_p 가 450 \AA 의 시료에서 반드시 생성되는 초기석출부에 주로 석출하고 있는 것이 추정된다. 그래서 이 초기석출부의 영향을 제거하기 위하여 비자성금속인 Cu를 포아밀부분의 초기석출부에 석출시킨후, 그 위에 코발트-철을 석출한 시료에 대하여 자기특성과 결정배향성을 조사하였다. 초기석출부가 제거된 시료의 경우는, 그림 9와 같이 합금의 조

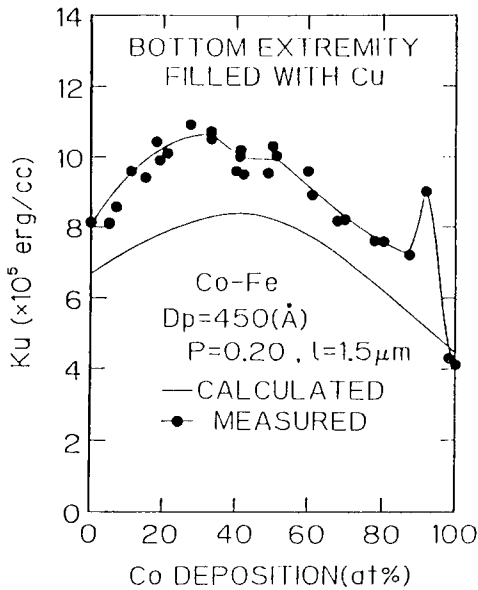


Fig. 9. The alloy composition dependence of the magnetic anisotropy energy K_u for the samples removed the effect of the bottom extremity by electrodepositing Cu.

성과 자기이방성에너지와의 관계에서 정(+)의 값을 갖는다. 조성 30 at%Co부근에서 $10 \times 10^5 \text{ erg/cc}$ 의 최대치를 취하고, 80 at%Co까지는 단순히 감소하지만, 합금의 상(phase)이 변해서 hcp영역으로 되면 K_u 는 다시 증가하고, 그의 변화는 Co 결정의 배향성에 따른다. 이 시료에 대한 XRD결과를 그림 10에 나타낸다. 그림의 (a), (b) 및 (c)의 경우, (110)면의 배향의 큰 변화는 없다. 그러나 초기석출부가 형성되어있는 그림 8의 경우와는 달리 면간격 2.29 \AA 과 1.14 \AA ($2\theta = 46^\circ, 103^\circ$)의 대단히 강했던 회절선의 피크는 거의 무시할 수 있는 정도로 약

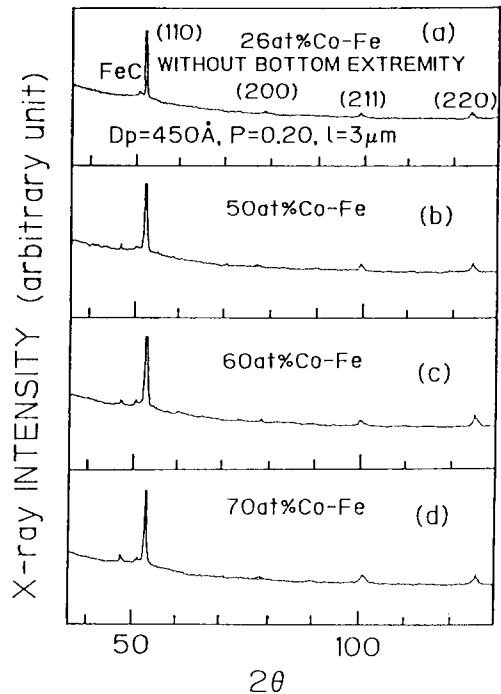


Fig. 10. The XRD patterns of the samples removed bottom extremity by electrodepositing Cu.

해지고, 코발트-철 합금의 (110)면의 배향이 눈에 띄고, D_p 가 200 \AA 이하의 시료와 거의 유사한 패턴을 나타낸다. 이것은 입자직경이 450 \AA 인 시료는, 초기석출부의 유무에 의해 형상에 의한 영향뿐이 아니고, 포아밀중의 석출물이 변해있는 것을 의미하는 것이다. 이와같이 초기석출부에 석출한 FeC가 자기이방성에 영향을 크게 미치고 있음이 확인 되었다. 그러나, 같은 산성수용액을 사용하는 경우에도 불구하고 특정한 조성에서만 이러한 현상을 나타내는 이유는 확실하지 않다.

IV. 결 론

코발트 및 철의 이온을 혼합한 산성수용액 중에서 알루미늄 양극산화피막에 전해석출하여 얻어진 자성막에 있어서, 결정구조, 항자력 및 자기이방성 에너지등에 대하여 조사·검토한 결과는 다음과 같다.

- 1) 코발트이온과 철이온의 혼합수용액 중에서 전해석출한 양극산화자성피막 중에는, 코발트-철 합금이 석출하는 것이 밝혀졌다. 또 코발트조성을 증가시키기에 따라 막의 결정구조는, 발크의 경우와 마찬가지로 bcc

에서 fcc, hcp로 상전이 하였다.

- 2) 입자직경 150 Å, 충진율 0.20의 시료에서, 포화자화가 큰 25-35 at% Co로 선택할 때, 막면에 대하여 수직방향의 항자력은 2800 Oe, 자기이방성 에너지는 10×10^5 erg/cc로 철 석출한 막보다도 높은 값이 얻어졌다. 이로인해 자기에너지 적(BH_{max})의 증가가 가능하여 우수한 경자기 특성이 얻어질 수 있음이 확인되었다.
- 3) 입자직경이 450 Å으로 비교적 큰 경우, 코발트 조성비 50-70 at%일때 초기석출부에는 FeC가 아주 강하게 배향함으로, 침상구조를 갖는 석출입자의 큰 형상이 방성이 배향함으로, 침상구조를 갖는 석출입자의 큰 형상이방성이 없어지고 면내방향의 자기이방성을 나타내는 것이 밝혀졌다. 또 이 부분을 제거할때, 면내 자기이방성에서 수직자기이방성으로 회복되었다. 이것은 코발트 조성을 적당히 변화시켜 자기이방성을 수직방향, 무방향 및 면내방향 등으로 제어가능함을 의미한다.

참고 문헌

- [1] 淺田太平, 日本特許, 310401(1963).
- [2] F. Morral, Metal Finishing, **62**, 59(1954).
- [3] J. Brownlow:IBM Technical Disclosure Bulletin, II, 238(1968).
- [4] S. Kawai and Ueda, J. Electrochem. Soc., **222**, 32(1975).
- [5] K. I. Arai, H. W. Kang, K. Ishiyama, T. Kamigaki, I. Tokunaga, S. Ynagita, S. Tonegawa and K. Hayasaka, IEEE Trans. Magn., **MAG-26**, 2295(1990).
- [6] K. I. Arai, H. W. Kang and K. Ishiyama, IEEE Trans. Magn., **MAG-26**, 1635(1990).
- [7] K. I. Arai, H. W. Kang and K. Ishiyama, IEEE Trans. Magn., **MAG-27**, 4906(1991).
- [8] Decker and A. Middelhoek, J. Electrochem. Soc., **117**, 440(1970).
- [9] J. P. O' Sullivan and G. C. Wood, Proc. Roy. London, A., **317**, 511(1970).
- [10] E. P. Wohlfarth: Ferromagnetic Materials, **2**, pp. 171(North-Holland).
- [11] T. Kamigaki, I. Tokunaga, S. Yanagita, S. Tonegawa, K. Hayasaka and K. I. Arai, J. Mag. Soc., Jpn, **13-S1**, 291(1989).
- [12] M. Masuda, S. Shimoi and M. Shiraki, Jpn. J. Appl., **26**, 1680(1987).
- [13] H. C. Eckstrom and W. A. Adock, J. Am. Chem. Soc., **71**, 1042(1950).

Preparations and Magnetic Properties of Aluminum Anodic Oxidized Films Electrodeposited Cobalt-Iron Alloys

Hee-Woo Kang

Department of Electronic Communication, Juseong Junior College

(Received 4 February 1994, in final form 7 March 1994)

The magnetic properties of aluminum anodized film in which Co-Fe alloy electrodeposited are investigated with regard to the alloy composition of magnetic films. The electrodeposited Co-Fe particles are confirmed to be single phase Co-Fe alloys by X-ray diffractions. At 34 at% Co, the sample with small pore diameter (particle diameter 150 Å) has a large magnetic energy product (B_{max}) of about 1.44 MGOe due to the large saturation magnetization, the high coercive force and good squareness of the M-H curve. However, for the samples with particle diameter larger than 450 Å, the bottom of each particle forms abnormal particle claaed branch-shaped unlike the sample of the particle diameter 150 Å. In this case, the magnetic anisotropy energy was about zero at the compositions of 45 and 75 at% Co. Moreover, at the compositions from 50 to 70 at% Co, the anisotropy became negative value. This means that an easy axis of magnetization of the film is in plane in spite of the perpendicular shape anisotropy of the particle. It was found that the bottom extremity of the particle contains FeC from the X-ray diffraction. Thus the effect of the bottom extremity, that is, an unusual magnetic property was removed by electrodepositing Cu at the bottom extremity of the particle. It is clear that the magnetic properties of the films are influenced by the branch-shaped bottom extremity filled with FeC.