

전해조건에 따른 CoFeCu 합금박막의 조성, 우선방위 및 자기적 특성

예길촌, 김용용, 김선윤

영남대학교 금속공학과

Composition and magnetic properties of CoFeCu alloys according to electrolysis conditions

C. G. Ye, Y. W. Kim, and S. Y. Kim

Dept. of Metallurgical Eng., Yeungnam University

Abstract

The composition, the preferred orientation and the magnetic properties of the CoFeCu alloys electrodeposited under various electrolysis conditions in sulfate baths were investigated. As the D.C. current density increased, the Co content in the alloy electrodeposits increased, while the Cu content decreased and the Fe content remained constant. The effect of magnetic field up to 300 Oe on the composition of alloys was negligible. The Cu content of the alloys deposited in pulse current increased noticeably with increasing off-time, while the Co and Fe content decreased. The coercivity of the alloys with 3.5 to 7.0wt.% Cu was 1.0 to 2.0 Oe, but increased noticeably above and below that composition. The application of magnetic field during deposition decreased the coercivity of alloys. The saturation flux density of the alloys with 3.5 to 5.0wt.% Cu was relatively high in the range from 16 to 20.7KGauss. The anisotropy field(H_k) of the alloys deposited under the magnetic field(50~300 Oe) ranged from 18 to 22 Oe. The alloys had fcc structure with (111) preferred orientation, whose distribution increased a little with increasing magnetic field.

1. 서 론

연자성 박막은 자기기록 시스템 등에 사용되고 있으며, 박막헤드용으로 전기도금된 NiFe 합금이 1970년에 처음 개발¹⁾된 이래로 1979년에 IBM에 의해 상용화되었다²⁾. NiFe 합금의 보다 향상된 특성을 얻기 위한 지속적인 연구가 이루어져 왔으

며³⁻⁶⁾, 근년에는 CoFe 합금박막이 NiFe 박막에 비하여 포화자화값(B_s)이 거의 두배로 증가하나 보자력(H_c)은 보다 증가됨을 발표하였다^{7, 8)}.

최근에는 초산염이 첨가된 황산염욕을 사용한 CoFeCu 3원합금이 개발되어 CoFe 2원합금에 비하여 자왜 및 보자력이 보다 낮아지고 양호한 연자성을 유지할 수 있는 합금조성 범위가 확장됨

을 발표하였다⁹⁾. 그러나 Chang 등⁹⁾이 사용한 초산나트륨이 첨가된 황산염욕은 욕안정성에 문제가 있었으며, 전류밀도 및 P.C. 전해방법 등 전해조건의 변화에 따른 합금조성과 우선방위 등 조직변화에 대한 연구가 부족하였다.

따라서 본 연구에서는 예비실험을 통하여 욕안정성이 개선된 광택제(로릴 황산나트륨 및 사카린)를 첨가한 황산염욕을 사용하여 전류밀도 및 전해중의 자장의 변화에 따른 CoFeCu 합금의 조성, 우선방위 및 연자성 변화를 조사하였으며, 특히 합금조성의 변화에 미치는 P.C. 전해의 영향을 조사하였다. 또한 합금의 우선방위 및 조성의 변화와 연자성 특성과의 상호 연관성을 검토함을 목적으로 하였다.

2. 실험방법

CoFeCu 합금박막은 Table 1과 같이 황산염욕을 사용하여 전해조건(전류밀도, 자장부가, D.C. 및 P.C. 전해)을 변화시켜 3 μm 두께로 전해하였다.

Table 1. Bath composition and electrolysis conditions for CoFeCu alloys.

Bath composition (g/L)	CoSO ₄ · 7H ₂ O	:	56.2
	FeSO ₄ · 7H ₂ O	:	5.56
	CuSO ₄ · 5H ₂ O	:	0.002~0.004
	H ₃ BO ₃	:	24.7
	Na saccharin	:	2
	Na lauryl sulfate	:	0.2
D.C. electrolysis	pH	:	3.5
	Temp.	:	30°C
	Current density	:	1~5A/dm ²
	Magnetic field	:	0~300 Oe
P.C. electrolysis	i _{on}	:	1~5A/dm ²
	t _{on}	:	10ms
	t _{off}	:	10~200ms
Other conditions	Cathod	:	Cu-sheet
	Anode	:	Co-sheet
	Electrode distance	:	5.5cm
	Electrode area	:	4×4cm
	Paddle speed	:	20cm/sec

다. 전해장치는 Ye 등의 선행연구¹⁰⁾와 같이 paddle 교반장치를 부착한 2ℓ 용량의 아크릴 전해조를 사용하였으며, 음극은 보조 전극을 부착하여 전류밀도의 분포를 균일하게 하였다. 또한 Table 1의 전해조건을 사용하여 CoFe 2원합금박막을 전해하여 CoFeCu 3원합금의 Cu 첨가효과를 비교 검토하였다. 합금박막의 조성은 I.C.P. (LAB-TAM 8440)를 사용하여 분석하였다. 분극곡선은 정전류법을 사용하여 측정하였으며 합금의 각 성분금속의 분극곡선은 해당되는 단일성분만 포함된 전해액을 사용하여 측정하였다. 합금층의 우선방위는 X.R.D.(Cu k α 사용하여 결정 격자면의 적분강도를 측정하여 그 상대강도로써 비교 검토하였으며, 표면조직은 S.E.M.을 사용하여 2000배로 관찰하였다. 합금층의 연자성(Hc, Bs, Hk)은 V.S.M.을 사용하여 B-H곡선에서 측정하였다. 이방성자기장(Hk)은 전해시 외부자장(Hex)을 0~300 Oe 범위에서 전극에 평행한 방향으로 부가하여 전해한 합금박막을 사용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 검토

3.1 합금의 조성

Fig. 1은 로릴 황산나트륨을 핏트 방지제로써 첨가하여 D.C. 전해한 CoFeCu 합금박막의 조성 변화를 나타내었다. 전해액의 Cu염의 첨가량이 0.004M 및 0.002M인 경우 전류밀도가 1~5 A/dm² 범위에서 증가함에 따라서 합금의 Cu함량은 각각 3.5~13.5wt.% 및 1.6~8.6wt.% 범위에서 감소하였으며, 반면에 Co 함량은 각각 76.5~86.0 wt.% 및 81.0~87.7wt.% 범위에서 완만하게 증가하였다. Co 및 Cu함량이 각각 증가하거나 감소한 결과는 Fig. 2의 분극곡선에서 알수 있는 바와 같이 전류밀도의 증가 또는 음극과전압의

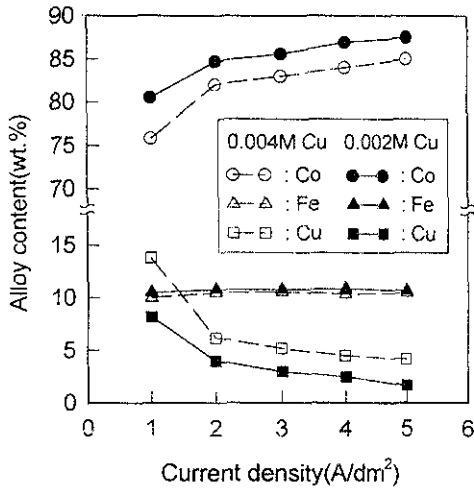


Fig. 1 Composition of CoFeCu alloys obtained from bath containing Na lauryl sulfate and Cu ion as function of current density.

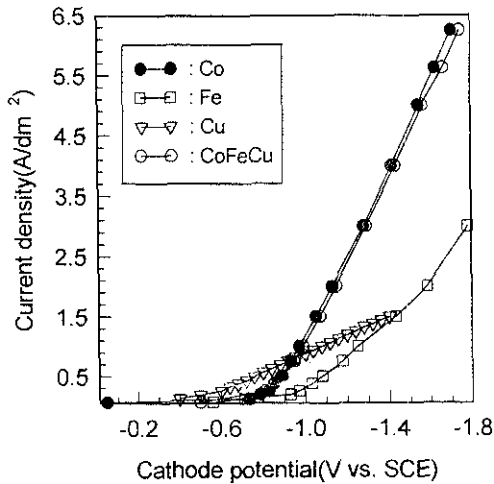


Fig. 2 Cathode potentials of CoFeCu alloys and its components in bath containing 0.004M CuSO₄, 2g/L Na saccharin and 0.2g/L Na lauryl sulfate as function of current density.

증가에 따라서 Cu의 부분전류밀도의 증가율이 Co의 경우보다 낮아진 때문이라 생각된다. 한편

Table 2. Composition of CoFeCu alloys with Na lauryl sulfate vs. magnetic field(H_{ex}).

C.D. (A/dm ²)	Composition of alloys (wt.%)				
	H _{ex} (Oe)				
	0	50	150	300	
1	Co	80.7	81.0	81.5	81.5
	Fe	9.2	9.0	9.0	9.0
	Cu	10.1	10.0	9.5	9.7
2	Co	82.7	83.4		82.2
	Fe	10.0	9.6	--	9.6
	Cu	7.3	7.0		8.2
3	Co	85.0	85.2	84.1	84.1
	Fe	10.0	10.0	10.3	10.0
	Cu	5.0	4.8	5.6	5.9
4	Co	85.6	85.2	84.8	85.6
	Fe	9.8	10.0	10.8	9.8
	Cu	4.6	4.8	4.4	4.6
5	Co	86.0	85.9	85.3	85.9
	Fe	10.0	10.2	10.7	10.1
	Cu	4.0	3.9	4.0	4.0

Fe함량은 10~11.2wt.% 범위로 거의 일정한 값 V을 나타내었다. CoFe 2원합금의 경우(Table 3) 도 전류밀도의 변화에 따라서 Fe함량이 10~10.5wt.% 범위로서 일정하여 조성의 변화가 없는 바 Cu공식에 의한 Fe함량에 미치는 영향을 없음을 알 수 있었다. 또한 전해액 중의 Cu염의 함량이 0.002M에서 0.004M으로 증가됨에 따라서 합금의 Co 및 Cu 함량은 각각 뚜렷이 감소하거나 증가하여 그 첨가량의 영향이 현저함을 알 수 있었다. Table 2의 결과와 같이 전해시 자장의 변화에 따른 합금조성은 거의 변화되지 않았으며, 조성에 미치는 자장의 영향은 없음을 알 수 있었다.

Table 3은 초산나트륨 및 로릴 황산나트륨을 각각 첨가하여 전해한 합금의 조성을 나타내었는데 두 첨가제의 종류에 따른 조성변화는 거의 유사하여 조성에 미치는 첨가제의 영향은 없었다. 그러나 초산나트륨을 첨가한 전해액은 침전물 형성 등의 액 노화현상이 발생하는데 비하여 로릴 황산나트륨 첨가의 경우는 액 안정성이 향상됨을 알 수 있었다.

Fig. 3~4는 파형전류 전해법이 합금조성에 미

Table 3. Composition of CoFeCu alloys electrodeposited from bath containing Na acetate, Na lauryl sulfate and 0.004M $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

C.D (A/dm ²)	Composition of CoFeCu alloy (wt.%)				Composition of CoFe alloys (wt.%)	
	Na acetate		Na lauryl sulfate			
	00e	600e	00e	600e		
1	Co			79.6	79.8	90.0
	Fe	--	--	9.8	9.0	10.0
	Cu			10.6	11.2	--
2	Co	82.8	83.7	82.3	83.4	89.5
	Fe	10.7	10.9	10.1	9.6	10.5
	Cu	6.5	6.4	7.6	7.0	--
3	Co	84.1	84.4	84.7	85.1	89.5
	Fe	10.8	10.9	10.1	9.8	10.4
	Cu	5.1	4.7	5.2	5.1	--
4	Co	85.0	85.5	85.6		89.7
	Fe	10.5	10.7	10.0	--	10.3
	Cu	4.5	3.8	4.4		--
5	Co	86.0	85.8	86.2	85.9	89.5
	Fe	10.5	10.7	10.1	9.9	10.5
	Cu	3.5	3.5	3.7	4.2	--

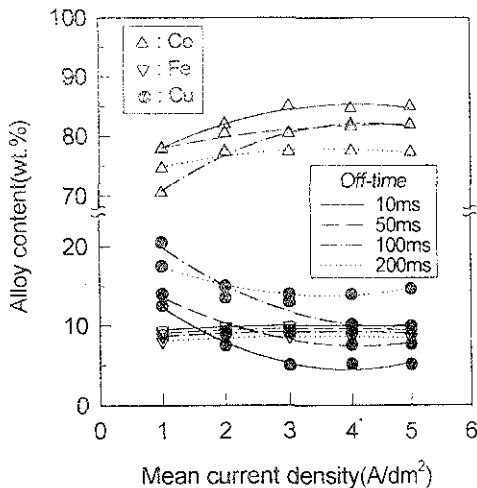


Fig. 3 Composition of CoFeCu alloys obtained from bath containing Na lauryl sulfate and 0.004M CuSO_4 as function of mean current density.

치는 영향을 나타내었다. Fig. 3과 같이 평균전류 밀도가 1A/dm²에서 5A/dm²으로 증가함에 따라서

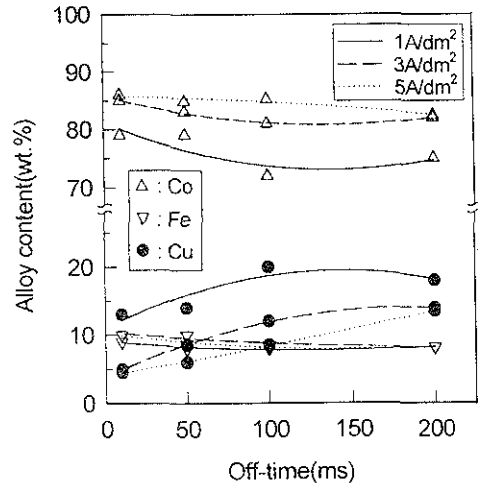


Fig. 4 Composition of CoFeCu alloys pulse current electrodeposited from bath containing Na lauryl sulfate and 0.004M CuSO_4 vs. off-time.

Co 및 Cu함량은 각각 증가하거나 감소되었으며, Fe함량은 거의 일정하여 D.C. 전해조건의 경우와 동일한 조성변화의 경향을 나타내었다. 반면에 비전해 시간(off-time)이 10ms에서 200ms로 증가함에 따라서 Co 및 Fe함량은 감소되었으며, 이에 상응하여 Cu함량은 현저히 증가된 결과를 나타내었다. 특히 off-time이 50~200ms 범위로 증가함에 따라서 Cu함량은 동일한 전류밀도의 D.C. 조건의 경우보다 현저히 증가되었으며 이 결과는 off-time의 증가에 따라서 Co성분과 더불어 Fe함량도 다소 감소한 사실에 연관됨을 알 수 있었다. Off-time의 증가에 따라서 Cu함량이 현저히 증가된 결과는 off-time의 증가 또는 순간 음극과전압이 증가된 조건에서 음극에 가장 귀한 성분인 Cu이온의 공급이 보다 용이하게 되고 보다 비한 Co 및 Fe이온의 보충이 다소 어려워진 때문이라 생각된다. Fukutomo 등¹¹⁾은 P.C. 전해된 Pd-Ni 합금에서 최대전류밀도(ip) 및 toff 값이 증가함에 따라서 보다 귀한 성분인 Pd의 함량이 증가됨을 발표한 바 있다.

Table 4. X-ray intensity of crystal planes of Co-FeCu alloys vs. magnetic field and current density

C.D. (A/dm ²)		0 Oe		150 Oe		300 Oe	
		X-ray Int. (cps)	R	X-ray Int.	R	X-ray Int.	R
1	(111)	438	2.9	444	3.2	435	2.35
	(200)	150		138		185	
2	(111)	445	4.8	438	5.2	467	5.5
	(200)	91		84		86	
3	(111)	354	4.6	374	5.5	380	5.0
	(200)	76		68		76	
4	(111)	207	3.7	330	4.6	317	4.1
	(200)	55		71		79	
5	(111)	196	3.0	337	4.0	320	4.7
	(200)	62		84		69	

R : Intensity ratio (111)/(200)

3. 2 우선방위와 표면조직

Table 4는 자장 및 전류밀도의 변화에 따른 우선방위의 결과로써 CoFeCu 합금은 fcc 상으로 대체로 (111) 우선방위를 나타내었다. 전류밀도가 2~5A/dm² 범위에서 증가함에 따라서 R값[(111)/(200)비]이 4.8~5.5에서 3.0~4.7 범위로 감소되어 (111)면의 집합조직이 다소 감소되는 경향을 나타내었다. 그러나 Cu함량이 11wt.%로 증가된 저 전류밀도(1A/dm²)에서는 R값이 2.3~3.2 범위로 보다 낮아져서 (111)조직에 (200)면의 결정조직이 다소 혼성되는 경향을 나타내었다. 한편 자장이 150~300 Oe 범위로 부가된 조건에서는 R값은 자장이 부가되지 않은 조건에 비하여 다소 증가되어 (111) 우선방위의 형성이 다소 촉진되는 효과를 나타내었다. Lee 등의 이론¹³⁾에 의하면 음극과전압이 낮은 조건에서는 격자표면에너지가 낮은 (110) 격자면의 우선방위가 형성되고 과전압의 증가에 따라서 (100)→(111)의 순서로 변화됨을 제안한 바 있다. CoFe 2원합금의 경우¹³⁾ 합

금은 (111)+(220) 혼합방위를 나타낸 반면에 Cu가 공석된 본 합금의 경우 대체로 (111) 우선방위를 나타낸 결과는 가장 귀한 성분인 Cu이온이 첨가물질과 더불어 (111) 격자면의 경우보다 격자표면에너지가 낮은 (220) 또는 (200) 격자면의 결정에 우선적으로 전착 또는 흡착됨으로써 주된 합금성분인 Co 및 Fe금속의 결정성장은 (111) 격자면의 결정면상에서 주로 이루어진대 기인한 것으로 판단된다. Chang 등⁹⁾은 CoFeCu 합금의 Fe함량이 낮은 조건에서는 (111) 우선방위를 갖는 fcc상의 조직을 형성하고 Fe함량이 증가함에 따라서 각각 (111) 및 (110) 우선방위를 갖는 fcc 및 bcc의 두 상이 혼성됨을 조사한 바 있다. 또한 Ye 등은 Co-Fe-Cr 합금의 경우¹³⁾ Cr공석량이 0.7~5.0wt.% 범위에서 증가함에 따라서 우선방위가 (220)에서 (111)+(220) 혼합방위로 변화되고 따라서 Cr공석에 의해 (111) 우선방위가 혼되는 결과를 조사한 바 본 결과도 이에 유사한 경향을 나타내었다. 또한 자장의 증가에 따라서 (111) 우선방위의 형성이 다소 촉진된 결과는 자장의 부가에 의해 음극으로 물질이동이 다소 증가됨으로써 (111) 격자면의 결정성장이 촉진된 때문이라 판단된다. Chiba 등¹⁴⁻¹⁵⁾은 Cu 등의 전해시 자장부가에 의하여 음극에 물질이동이 증가됨을 발표한 바 있다. 합금의 표면조직은 Fig. 5와 같이 평활하고 다소 조대한 유효결정립으로 구성된 조직을 나타내었다. 자장이 부가되지 않은 조건의 합금은 전류밀도가 증가함에 따라서 유효결정립의 경계가 얇아지면서 보다 평활한 표면상태를 나타내었다 (Fig. 5[a~c]). 한편 자장이 부가된 합금조직은 Fig. 5[d~f]와 같이 부가되지 않은 경우에 비하여 보다 평활한 표면조직을 나타내었다. 이 결과는 전자의 합금의 경우 (111) 집합조직의 형성이 후자의 경우에 비하여 보다 증가됨으로써 합금기지에 나란하게 (111)면의 결정성장이 보다 촉진된 때문이라 생각된다.

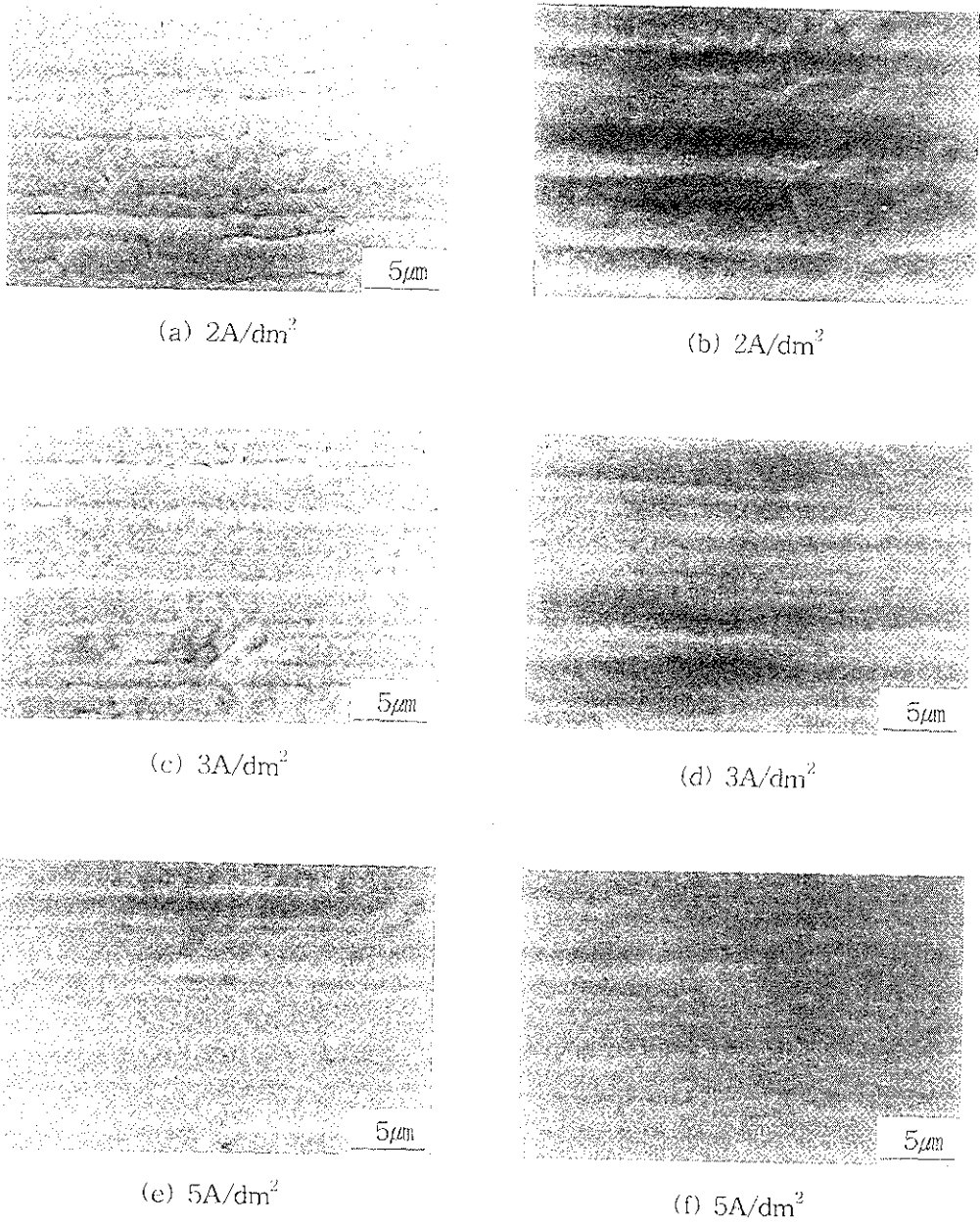


Fig. 5 Scanning electron micrographs of CoFeCu alloys
(a~c) : Alloys deposited without magnetic field
(d~f) : Alloys deposited under magnetic field(3000e).

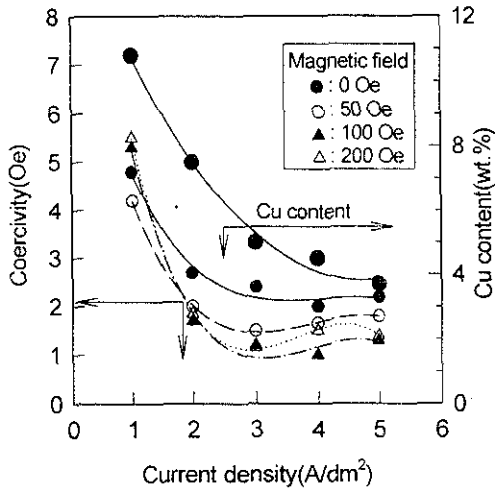


Fig. 6 Coercivity of CoFeCu alloys obtained from bath containing Na lauryl sulfate and 0.004M CuSO₄ vs. current density and Hex.

3.3 자기적 성질

CoFeCu 합금박막의 보자력(Hc)은 Fig. 6의 결과와 같이 전류밀도 및 자장 등 전해조건에 따라서 변화되었으며, 합금의 조성과의 연관성이 있음을 알 수 있었다. 자장이 부가되지 않고 전해된 합금의 경우 Hc 값은 전류밀도(1~5A/dm²)가 증가함에 따라서 대체로 감소하는 경향을 나타내었다. 합금의 Cu함량이 높은 저 전류밀도(1~2A/dm²)의 조건에서는 Hc 값이 2.7~5.5 Oe 범위로 크게 증가한 반면에 Cu함량이 3.7~5.2wt.%로 비교적 낮은 3~5A/dm² 범위의 전류밀도 조건에서는 1.9~2.3 Oe 범위로서 보자력의 변화가 미소하고 가장 낮은 값을 나타내었다. 한편 자장을 50~300 Oe 범위로 부가하여 전해한 합금의 Hc 값은 2~5A/dm²의 전류밀도 조건에서 부가하지 않은 경우(1.9~2.6 Oe)에 비하여 보자력이 1.0~2.0 Oe 범위로 다소 낮아진 결과를 나타내었다.

자장의 부가에 의해 보자력(Hc)이 감소된 결과는 자장의 부가에 따라서 합금의 조성변화는 거의

없는 반면에 우선방위인자(R) 또는 (111)면의 집합조직이 증가된 결과(Table 4)에 연관된 것으로 생각된다. 어닐링된 퍼멀로이(permalloy) 합금의 경우 (111) 집합조직계수가 변화됨에 따라서 Hc 값이 변화됨을 조사한 바³⁾ 있으며 이 결과는 합금의 결정성장 및 우선방위 등 결정조직의 변화에 연관된 것으로 해석하였다. 또한 Osaka 등¹⁶⁾은 무전해된 CoFe 및 CoFeB 합금의 Hc 값이 자장을 부가함으로써 감소됨을 발표한 바 있다. 한편 전해시 자장을 150~300 Oe 범위로 부가한 합금층의 자화관란방향(Hard axis)의 Hc 값은 Table 5와 같이 자화용이방향(Easy axis)의 값에 비하여 다소 증가된 결과를 나타내었으며, 특히 Cu함량이 10% 이상으로 높은 합금박막의 경우는 현저히 증가되었다. Saito 등¹⁷⁾은 Hc 값의 수직이방성은 자기탄성(magneto-elastic)효과에 의해 유기되며 인장응력 및 음의 자화 값을 가진 박막합금에서 발생하여 Hc 값을 증가시킴을 발표하였다. T. Osaka 등⁸⁾은 Co기 연자성 박막합금의 경우 자장부가에 의해 E.A.방향의 Hc 값이 H.A.의 경우보다 증가됨을 조사한 바 있다. Fig. 7은 자장을 부가하지 않고 전해된 합금의 Cu함량에 따른 Hc 값의 변화를 나타내었다. Cu함량이 3.5~7.0wt.% 범위에서는 Hc 값이 1.5~2.2 Oe 범위로 대체로 일정한 낮은 값을 나타내었다. 그러나 Cu함량이

Table 5. Coercivity of CoFeCu alloys vs. magnetic field applied during deposition.

C.D. (A/dm ²)	External magnetic field					
	50 Oe		150 Oe		300 Oe	
	E.A.	E.A.	E.A.	E.A.	E.A.	E.A.
1	4.2	5.2	5.3	8.0	5.4	8.0
2	1.9	2.1	1.6	2.0	1.6	1.9
3	1.4	1.6	1.1	1.5	1.7	1.8
4	1.5	1.5	1.2	1.4	1.0	1.4
5	1.7	1.8	1.1	1.4	1.2	1.5

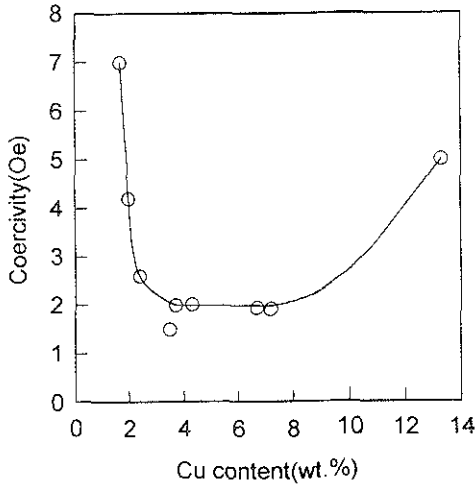


Fig. 7 Coercivity vs. Cu content of CoFeCu alloys.

2.5wt.% 이하 또는 10.0wt.% 이상으로 각각 감소

Table 6. Saturation magnetization of CoFeCu alloys vs. current density.

C.D. (A/dm ²)	Thickness (μ m)	B _s (KG)	Cu(wt.%)
1	3.2	12.8	7.2
2	3.0	16.0	5.0
3	2.3	20.7	5.1
4	2.5	17.6	4.0

하지만 증가함에 따라서 Hc 값은 2.6~7.0 Oe 범위로 현저히 증가하였다. 로릴 황산나트륨이 첨가된 CoFeCu 합금의 포화자화 값(Bs)은 Table 6과 같이 Cu함량이 4.0~5.1wt.%인 경우 16~20.7KG 범위의 비교적 높은 값을 나타내었으나 Cu함량이 7.2wt.%로 증가된 경우는 12.8KG로 낮아진 결과를 나타내었다. Chang 등⁹⁾도 초산나트륨을 첨가한 CoFeCu 합금의 경우 Fe 및 Cu함량이 증가함에 따라서 Bs는 17~20KG 범위에서 각각 증가하거나 감소됨을 조사한 바 본 결과는 이에 유사한

경향이였다. 또한 본 합금의 Bs 값은 CoFe 2원합금의 경우⁷⁾와는 유사하였으나 퍼멀로이의 경우(9~12KG)⁸⁾에 비해서는 현저히 증가됨을 알 수 있었다. Bs 값이 보다 증가되면 헤드 포울을 보다 얇게 만들 수 있고 따라서 전해시간을 줄이거나 석판인쇄를 단순화시킴으로써 생산능률을 향상시키게 된다.

Fig. 8은 자장과 전류밀도를 각각 0~300 Oe 및 2~5A/dm² 범위에서 변화시킴에 따른 이방성자장(anisotropy field, Hk)의 변화를 나타내었다. 전류밀도의 증가에 따른 Hk 값의 증감은 일정한 변화경향을 나타내지 않았다. 또한 50~300 Oe 범위에서 자장의 변화에 따른 Hk의 변화는 거의 없었다.

퍼멀로이합금¹⁾ 및 CoFe 2원합금⁷⁾의 경우 Hk가 각각 8~15 Oe 및 2~5 Oe 범위인데 비하여 본 CoFeCu 합금의 Hk 값은 보다 증가된 결과임을 알 수 있었다. Hk 값의 증가는 자벽 구조의 안정성과 재현성을 향상시키나 자구크기와 투자율의 상관관계에 의하여 적정한 범위

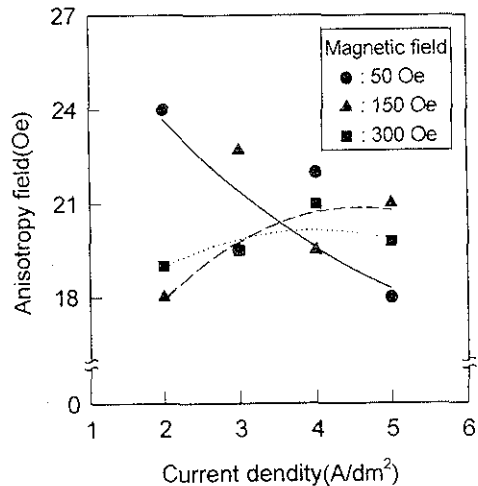


Fig. 8 Anisotropy field of the alloy vs. current density and magnetic field(H_{ext}).

의 Hk 값이 존재한다¹⁹⁾. 따라서 본 합금의 Hk 값의 적절한 범위에 대한 문제는 앞으로 조사하여야 할 과제라 생각된다.

4. 결 론

황산염욕을 사용한 CoFeCu 3원합금의 조성, 조직 및 연자성에 미치는 전해조건(전류밀도, 자장, P.C.전해 등)의 영향을 조사한 결과는 다음과 같다.

1) D.C. 전류밀도($1\sim 5\text{A}/\text{dm}^2$)의 증가에 따라서 합금의 Co 및 Cu함량은 각각 증감되었으며 Fe함량은 거의 일정하였다. 이 결과는 전류밀도의 증가에 따른 Cu 부분전류밀도의 증가율이 Co 및 Fe의 경우보다 낮은데 기인하였다. 첨가제 및 자장의 변화에 따른 조성의 변화는 거의 없었다. P.C. 전해조건에서는 비전해 시간(off-time)이 $10\sim 200\text{ms}$ 범위에서 증가함에 따라서 합금의 Cu함량은 D.C. 경우보다 현저히 증가되었으며, Co함량은 감소되었다. 또한 Fe함량도 다소 감소되는 경향이었다.

2) CoFeCu 합금은 fcc상으로써 (111) 우선방위를 나타내었으며 전류밀도의 감소 및 자장의 부가에 의하여 (111)면의 집합조직의 형성이 보다 증가되었다. 합금의 표면조직은 평활하고 조대한 유효결정립으로 구성되었으며 전류밀도의 증가 및 자장의 부가에 의해서 표면의 평활성이 향상되었다.

3) 합금의 보자력(Hc)은 Cu함량이 $3.5\sim 7.0\text{wt.}\%$ 범위에서 $1.0\sim 2.2\text{ Oe}$ 범위로 대체로 낮은 값을 나타내었다. 반면에 Cu함량이 $2.5\text{wt.}\%$ 이하 또는 $10\text{wt.}\%$ 이상인 조건에서는 Hc 값이 $2.6\sim 7.0\text{ Oe}$ 범위로 현저히 증가하였다. 자장을 $50\sim 300\text{ Oe}$ 범위로 부가함에 따라서 Hc 값은 다소 낮아진 결과를 나타내었으며, 이 결과는 합금의 (111) 우선방위의 형성이 다소 촉진된 결과에 상응하였다.

4) 포화자화 값은 Cu함량이 $3.5\sim 5.1\text{wt.}\%$ 범위

에서 $16\sim 10.7\text{KG}$ 로써 퍼멀로이의 경우($9\sim 12\text{KG}$)에 비하여 현저히 증가되었다. 이방성자기장(Hk)은 자장($50\sim 300\text{ Oe}$)을 부가하여 전해한 $3.5\sim 5.0\text{wt.}\%$ Cu조성 합금의 경우에 $18\sim 22\text{ Oe}$ 범위으로써 CoFe 및 퍼멀로이 경우보다 현저히 증가된 결과를 나타내었다.

후 기

연구는 과학재단의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. L. T. Romankiw, I. M. Croll, and N. Hatazkis : IEEE Trans. Magn., MAG-6 (1970) 597.
2. D. A. Thompson and L. T. Romankiw : IBM Disk Storage Techonlogy, (1980) 3.
3. J. C. Lloyd and R. S. Smith : Canadian J. of Phys., 40 (1962) 454.
4. W. O. Freitag, G. DiGuilio, and J. S. Mathias : J. of Electrochem. Soc., 113 (1966) 442.
5. D.A. Herman, Jr. : Proc. Symn. on Magnetic Materials, Processes and Devices, L. T. Romankiw and., D. A. Herman, eds., 90-8 Electrochem. Soc., (1990) 329.
6. H. H. Law and C. A. Holden : Plating and Surf. Finish., 79 (1992) 80.
7. S. H. Liao : IEEE Trans. Magn., MAG-23 (1987) 1981.
8. J. W. Chang, P. C. Andricacos, B. Petek, and L. T. Romankiw : Proc. Symp. on Magnetic Materials, Process and Deveces, 90-8 (1990) 361.
9. J. W. Chang, P. C. Andricacos, and L. T. Romankiw : ibid, 92-10 (1992) 10.
10. G. C. Ye, Y. W. Kim : Proc. of RETCAM

- Meeting on Thin Film and Crystal Growth, (1994) 245.
11. Y. Fukutomo, Y. kawashima, and T. Hayashi : Plat. and Surf. Finish., 73 (1986) 62.
 12. G. C. Ye and D. N. Lee : Proc. Chemical Metallurgy - A Tribute to Carl Wagner, A Gokcen, ed. TMS AIME, (1981) 493.
 13. G. C. Ye, Y. W. Kim, and G. H. Moon : Proceed of RETCAM Meeting on Thin Film and Crystal Growth, (1996) 132.
 14. A. Chiba and T. Yamashta : Surface and Coating Tech., 34 (1988) 445.
 15. A. Chiba : 金屬表面技術, 39 (1988) 106.
 16. T. Osaka, T. Homma, K. Satio, and A. Takekosh : Proc. Symp. on Magnetic Materials, Proc. and Devices, 92-10 (1992) 267.
 17. N. Saito et. al. : J. Phy. Soc., Japan, 19 (1964) 1116.
 18. W. O. Freitag, G. DiGuilio, and J. S. Mathias : J. of Electrochem. Soc., 111 (1996) 441.
 19. Y. Nakamura, K. Yamakawa, and S. Iwasaki : IEEE Trans. Magn., 21 (1985) 1578.