

Co-Ag 합금박막의 거대자기저항 및 강자성 상하지층의 효과

김용혁 · 이성래

고려대학교 재료금속공학부

(1996년 12월 1일 받음, 1997년 2월 22일 최종수정본 받음)

조성과 강자성 상하지층이 Co-Ag 나노입상 합금박막의 거대자기저항과 포화자기장에 미치는 효과에 대하여 연구하였다. 두께 3000 Å, 30 at. % Co 조성의 증착된 상태의 합금박막에서 23 %의 최대 자기저항비를 얻었으며 포화자기장은 2.3 kOe 였다. 두께 100 Å의 Co₃₀Ag₇₀ 합금박막의 자기저항비는 3.65 %, 포화자기장은 3.0 kOe이었으며 200 Å의 Fe를 상하지층으로 증착하였을 때 자기저항비는 3.3 %, 포화자기장은 1.23 kOe로 감소하였다. 강자성 상하지층이 교환결합에 의하여 합금박막의 포화자기장을 감소시키는 효과가 있었으며 그 효과는 합금박막의 두께가 약 300 Å 이하에서 나타났다. 교환결합 강자성체 인 Co, NiFe, 그리고 Fe 중에서 포화자기장 감소에 가장 효과적인 재료는 Fe 이었다.

I. 서 론

미세입상 합금박막에서의 거대자기저항(giant magnetoresistance, GMR) 현상은[1, 2] 상호고용이 되지 않는 계에서 석출된 nm 크기의 단자구 자성입자의 자기모멘트가 무방향 배열된 초상자성(superparamagnet) 특성을 가짐으로서 스핀의존산란(spin dependent scattering, SDS)에 의해서 나타난다.

상호 고용이 제한된 Cu-Co[1-3], Ag-Co(Fe)[4-9], Ag-Fe[4, 10] 및 Ag-FeNi[11]계 등이 거대자기저항 현상을 나타내며 상온에서 Cu-Co계에서는 최적 열처리시 약 12 % [3], Ag-Co계에서는 증착된 상태에서 23 % [8]의 최대 GMR 비가 보고된 바 있다. 입상 합금박막의 자기저항비에 미치는 요인 분석[12]에 의하면 상호 고용도가 적어 점결합 농도가 적고, 제한된 측정 조건에서 자성입자를 포화시킬 수 있는 입자크기를 가져야 하며, 자성체 입자와 비자성체 기지 계면의 농도차가 커야 한다. 포화자기장에 미치는 결정자기이방성, 형상이방성 및 열적교란 요인들의 분석[12]에 의하면 낮은 포화자기장을 얻고자 하는 관점에서는 NiFe이 가장 유리하고 강자성체 입자의 형상, 입자 크기 및 분포에서 엄격한 제한이 따른다. 미세입상 합금박막은 박막 제조 공정이 다층박막보다 용이하다는 이점이 있으나 본질적으로 포화자기장이 크다. 즉 미세입상 합금박막의 자화과정은 비자성 도체에 분산된 수 nm의 단자구 자성입자들의 열적교란을 극복하고 자기모멘트가 회전되어야 하므로 포화자기장이 클 수밖에 없다. 비자성도체 기지에 분산된 자성입자들의 크기, 분포 및 형상을 단순히 열처리를 통하여 엄격하게 제어하기란 거의 불가능하다. 형상이방성을 최소

화하기 위해서는 형상비(c/a ratio)가 1에 가까운 완벽한 구형의 자성입자를 만들어야 한다. Hylton 등[13]은 입상합금박막의 문제점을 해결하기 위하여 불연속 다층박막(discontinuous multilayers) 형태로 제조하여 자성입자의 모양이 형상비가 큰 disk 형태로 만들어 박막면 방향으로 이방성을 감소시켜 낮은 포화자기장과 높은 자기저항변화 감도를 얻었다. 불연속 다층박막 재료가 스핀밸브형 다층박막보다 더 높은(0.8-1.2 %/Oe) 자기저항 변화감도를 가짐으로서 실질적인 응용에 있어서 비결합 및 교환이방성 결합형 스핀밸브 다층박막과 함께 실질적 응용에 유리한 고지에 있으나 열적안정성에 문제가 있다.

현재 합금박막의 포화자장을 낮추려는 연구는 위에서 언급한 불연속 다층박막 형태의 접근이외에는 전무한 실정이다. 본 연구는 Co-Ag 합금박막을 근간으로 최적 자기저항조건을 확립하고 강자성 상하지층을 증착한 샌드위치 형태로 제조하여 강자성 상하지층과 합금박막내의 자성입자간에 교환결합이 자성입자의 스핀회전 즉 포화자기장에 미치는 효과 및 가능성에 대하여 연구하였다.

II. 실험방법

2-1. 합금박막제조

미세입상 합금박막은 저항가열식 동시진공증착기를 이용하여 제작했다. 진공증착장치는 회전펌프와 유화산펌프 그리고 액체질소트랩으로 구성되어 있으며 증착전 진공도는 5×10^{-7} Torr, 증착 중 진공도는 3×10^{-6} Torr를 유지했다. 증착속도, 박막의 두께 및 합금박막의 조성은 2대의 XTC를 이용하여 자동 제어하였다.

기판은 Corning사의 2948 유리 슬라이드를 사용하였

으며 마스크를 사용하여 자기저항소자 및 전극을 형성하였다. 합금박막은 Co의 조성을 20에서 55 at. % 까지 변화시키며 제작하였고 그때 합금박막의 두께는 3000 Å이었다. 최적의 자기저항을 얻은 Co₃₀Ag₇₀ 조성의 합금박막의 두께를 3000에서 100 Å까지 변화시키고 Co, Fe 및 Ni₈₁Fe₁₉ 상하지층을 50, 100 그리고 200 Å의 두께로 증착하였다. Fe 및 Ni₈₁Fe₁₉ 상하지층으로 한 삼층박막은 두번 대기에 노출을 되었다. 3층막의 경우에 통전시킨 전류가 상하지층으로 새어 흐르는 것을 최소화하기 위해 전류단자 및 전위차 단자가 합금층에 직접 접촉하도록 박막을 제작하였으며 그 단면도는 Fig. 1과 같다.

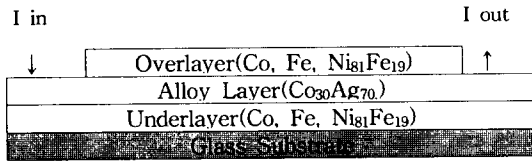


Fig. 1. Cross section diagram of sandwiched film.

2-2. 구조분석

X선 회절 실험은 Rigaku사 D/MAX-RC 12 kW 박막용 분석기를 Cu K α ($\lambda = 1.542 \text{ \AA}$) 및 Ni 필터를 사용하여 행하였다. 박막의 미세구조와 결정구조는 JEOL사 JEM-1200EX 투과전자현미경을 사용하여 명시야상과 제한시야회절상을 통하여 관찰했으며 가속전압은 120 kV 이었다. TEM 관찰용 박막은 SiO₂가 덧씌워진 200 mesh Cu 그리드 위에 합금박막을 100~500 Å 두께로 증착 하였다.

2-3. 자기적 특성 및 자기저항 측정

포화자화 (M_s), 보자력 (H_c), 잔류자화 (M_r) 및 자기이력곡선 측정을 진동시편자력계 (Vibrating Sample Magnetometer, 미국 DMS사 model 880)를 이용하여 ± 10 kOe까지 박막면에 평행하게 자장을 가하면서 상온에서 측정하였다.

자기저항측정장치는 약 ± 10 kOe까지의 자기장 하에서 표준 4탐침법으로 측정하였다. 모든 측정장비는 IEEE 488 interface를 이용하여 PC에 연결하여 데이터를 수집 및 제어하였다. 포화자기장 (H_s)은 전체 자기저항이력곡선으로부터 1/2되는 자기저항비를 얻는데 필요한 외부 자장으로 정의하였다.

열처리에는 관상로를 이용하여 99.99 % 고순도 아르곤가스와 99.99 % 고순도 수소가스를 혼합한 환원분위기 하

에서 열처리온도, 300 °C 그리고 열처리시간을 120분까지 행하였다.

III. 결과 및 고찰

Fig. 2는 Co-Ag 합금박막의 두께를 3000 Å으로 고정시키고 Co 조성을 20에서 55 at. %까지 변화시켰을 때, 조성에 따르는 Co의 고용도 및 Ag기지의 입자크기의 변화를 보여준다. 입자의 크기는 X선 회절 피이크로 Scherrer 식을 이용하여 (111) 피이크의 반폭치 및 Bragg 각으로 계산하였으며 고용도는 Vegard 규칙을 이용하여 계산하였다. Co 조성이 증가함에 따라 Ag 기지에 Co의 고용량이 2.6 at. % Co에서 6.7 at. % Co로 증가하여 점결합의 농도가 증가되고 Ag기지 입자의 크기가 147에서 67 Å로 감소하여 합금박막의 비저항은 증가한다. 따라서 증착상태에서 Co-Ag 합금박막은 Co가 과용된 Ag 기지에 대부분의 Co가 석출되어 있다. 투과전자현미경을 이용하여 관찰한 박막의 명시야상과 제한시야회절상 결과도 X선 회절분석의 결과와 동일하게 Co조성이 증가함에 따라 Ag기지의 입자크기가 감소하며 [9] Co 입자의 크기는 증가한다 [14]. Co함량이 45 % 이상에서 비저항이 크게 증가하는 데 [15] 이는 Ag기지에 Co의 고용량이 증가된 것뿐만 아니라 Ag기지가 Co에 의해서 단결되기 때문이다.

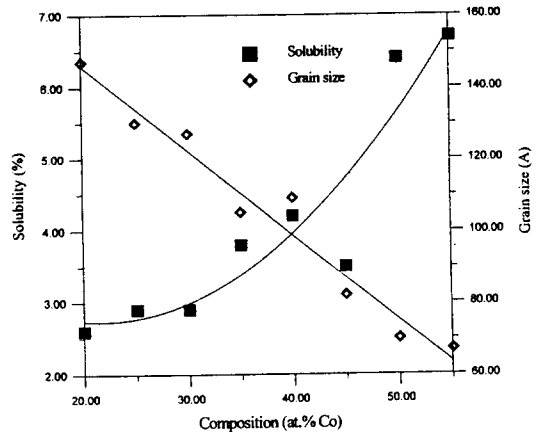


Fig. 2. Solubility and grain size of the 3000 Å Co_xAg_{100-x} alloy films as a function of composition.

입상합금박막에서 자기저항비는 일반적으로 $[\rho(H) - \rho(0)] / \rho(0) = -A(M/M_s)^2$ 의 관계를 따른다 [16]. 여기서 M_s 는 포화자화값이다. 입상합금박막에

서는 $(M/M_s)^2 = \langle \cos^2 \theta \rangle$ 이며, 여기서 θ 는 자성입자의 자화 축과 외부자계와의 각이다. 따라서 자성입자들을 완전히 포화시킬수록 자기저항비는 커지게 되고 제한된 조건에서 포화될 수 없는 입자가 많을수록 자기저항비는 작아지게 된다. 따라서 측정하는 조건(온도 및 자기장의 크기)에 따라 최적 입자 크기가 존재한다. 자성체의 체적이 일정할 경우 측정온도가 낮고, 인가자장의 크기가 크면 체적/표면적 비가 큰, 즉 자성입자의 크기가 작은 경우에 스핀의존산란이 일어날 확률이 높아져 비저항차가 증가하게 된다. 따라서 측정조건에 따라 최적의 크기 및 분포를 갖는 조성에서 최대값을 가지고 그 이후에는 감소하게 된다. 본 실험에서는 30 at.% Co에서 최대 자기저항비, 23%을 나타냈으며[15] 이는 이 조성에서 Co 입자의 크기와 분포가 현 측정 조건(상온 및 10 kOe)에서 스핀의존산란에 최적 상태이기 때문이다.

Fig. 3은 상온에서 박막에 평행하게 10 kOe의 자장을 인가했을 때 얻어진 합금박막의 Co 단위질량당 자화값 M_{10} 을 보여준다. 20 at.% Co 합금박막의 자화값은 약 90 emu/g으로 fcc Co의 단위질량당 포화자화값, 175 emu/g의 51%에 해당된다. 이와 같이 자화값이 작은 이유로는 첫째 Co-Ag 합금박막에서 Co의 일부가 Ag 기지에 고용되어 자기모멘트에 기여하지 못하고, 둘째 Co 입자에 Ag가 일부 고용되어 자기모멘트가 희석되는 이유와[14], 셋째 Co 입자가 매우 미세하여 초상자성 거동으로 포화되지 못하기 때문이다. Co 조성이 증가함에 따라 자화값이 증가하여 Co 입자가 충분히 강자성 거동을 할 수 있는 55 at.% Co에서도 포화자화값의 91%인 160 emu/g을 보인다. 이는 위에서 밝힌 첫 2가지 이유 때

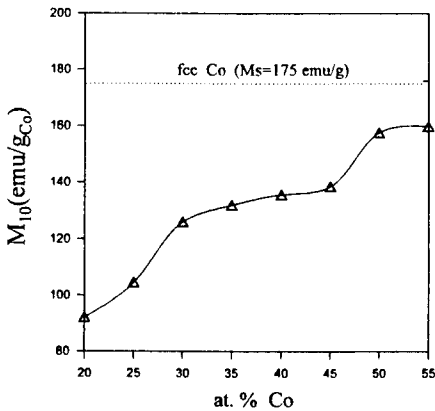


Fig. 3. Changes of magnetization (M_{10}) in the 3000 Å $\text{Co}_x\text{Ag}_{100-x}$ alloy films as a function of Co composition.

문이다. 즉 Fig. 2에서 보는 바와 같이 55 at.% Co합금에서 6.7 at.%가 자기모멘트를 잃는다면 자화값은 162 emu/g이며 이는 실측치 160 emu/g과 잘 일치한다.

Fig. 4는 증착상태에서 최대자기저항비가 관찰된 3000 Å 두께의 $\text{Co}_{30}\text{Ag}_{70}$ 합금박막을 300 °C에서 열처리 시간에 따르는 비저항, 비저항차, 자기저항비 변화양상이다. 증착된 상태의 박막은 입자가 미세하고, Co가 Ag 기지에 과 고용되어 있으며 공공(vacancy)을 비롯한 점결함 밀도가 높아 비교적 높은 비저항값을 지닌다. 열처리 시 과포화 고용되어 있던 Co가 석출되어 점결함 밀도가 감소하며, 이러한 원인으로 비저항이 감소하게 되며 그 이후 기지입자가 성장하여 면결함 밀도도 감소하여 완만히 비저항이 감소한다. 비저항차, $\Delta\rho$ 는 10분 이후부터 감소하여 40분 이후부터는 큰 변화를 보이지 않는다. 열처리를 행하면 Co 입자의 크기는 증가하며, 따라서 입자의 표면적/체적비가 감소하게 되고 스핀의존산란이 줄어들어 $\Delta\rho$ 는 감소하게 된다. 스퍼터로 제작한 Co-Ag 합금박막에서는 열처리하여 자기저항이 증가되는데[17] 이는 스퍼터의 유효냉각속도가 진공증착에 비해 크므로 Co의 고용량이 더 많고 입자의 크기가 더 작아 열처리시 최적 특성이 나타난다. 진공증착법은 스퍼터에 비해 상대적으로 유효냉각속도가 작아 고용량이 작고 자성입자의 크기가 현 측정조건(상온 및 10 kOe)에서는 증착상태에서 최적의 스핀의존산란을 보이기 때문에 최적의 자기저항거동이 나타났다.

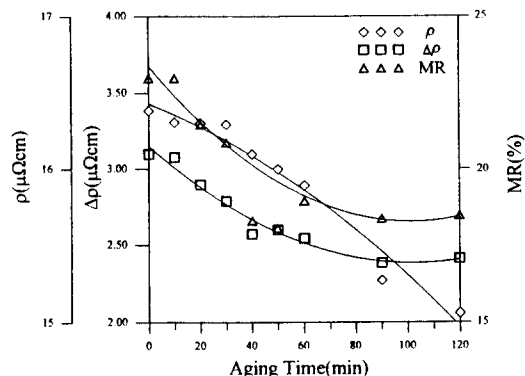


Fig. 4. ρ , $\Delta\rho$, MR % changes of the 3000 Å $\text{Co}_{30}\text{Ag}_{70}$ alloy film as a function of aging time, Aging temperature was 300 °C.

Fig. 5는 200 Å 두께의 Co, Fe, FeNi을 상하지층으로 한 삼층박막과 단일 합금박막의 두께에 따르는 포화자기

장의 변화를 보여준다. 약 300 Å 을 경계로 하여 그 이하에서는 삼층박막의 포화자기장이 단일합금박막의 그것보다 작아지고 있다. 이는 강자성 상하지층과 미세합금박막내의 Co 입자간의 교환결합에 의하여 단자구 Co 입자의 스핀회전을 용이하게 하는 결과로 이해된다. 강자성 상하지층과 합금박막내의 Co 입자간의 교환결합에 의한 포화자기장 감소효과는 합금박막의 두께가 약 300 Å 이하에서 나타남을 보여준다. Ag /Co 다층박막에서는 Ag의 두께가 약 60 Å 이상일 때 강자성층간의 교환결합이 소실된다[18]. 그러나 Ag층 내에 강자성체인 Co 입자가 존재한다면 강자성층간의 교환결합이 소멸되는 사잇층의 두께는 Co 입자의 영향으로 증가될 것이며 현 조건에서는 강자성층에 의해 미치는 두께는 약 300 Å 정도로서 순수한 Ag층에 비하여 약 5배정도 증가된 결과를 보인다.

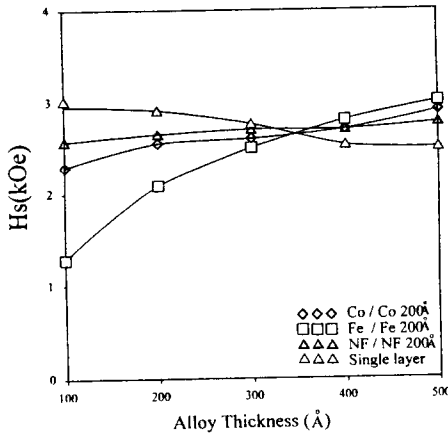


Fig. 5. Saturation field variation of the single layer and sandwiched alloy films with the Co, Fe, and NiFe of 200 Å as a function of alloy film thickness.

Fig. 6은 100 Å의 합금박막에서 상하지층 재료 및 그 두께에 따르는 포화자기장의 변화를 보여준다. Fe가 가장 포화자기장 감소에 효과적이며 NiFe이 가장 그 효과가 적다. Co의 교환에너지가 Fe 보다 약 4배정도 크나 결정자기이방성에너지가 크므로 포화자기장 감소에는 Fe가 더 효과적인 것으로 나타났으며 NiFe는 교환에너지가 작아 포화자기장 감소에 큰 영향을 나타내지 못한다. 상하지층의 두께가 포화자기장에 미치는 영향은 Fe나 NiFe이 Co에 비해 상대적으로 크다. 이는 Fe나 NiFe을 증착할 때는 진공을 깨뜨리고 피복하므로 일부 산화가 되어 자기적으로 비활성화 되

므로 두께에 영향이 큰 것으로 보인다. 합금박막이 100 Å이고 Fe 상하지층의 두께가 200 Å 일 때 포화자기장이 3 kOe에서 1.23 kOe으로 개선되었고 그 때 자기저항은 3.3 %이었다. 그러나 합금박막의 두께가 500 Å인 경우는(Fig. 5) 포화자기장의 큰 변화가 관찰되지 않았다. 즉 강자성 상하지층의 교환결합 효과에 의한 포화자기장에 영향을 미치는 데에는 층 두께에 한계가 있음을 시사해준다. 위에서 언급한 바와 같이 본 실험결과에서는 약 300 Å 이하에서 강자성 상하지층과 합금박막간에 교환결합 효과에 의하여 포화자기장에 영향이 있는 것으로 나타났다.

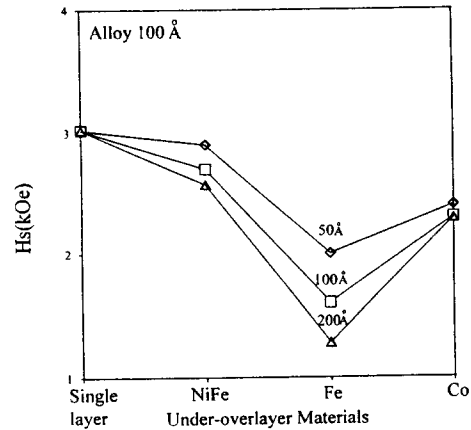


Fig. 6. Saturation field variation of the single layer and sandwiched alloy films with the Co, Fe, and NiFe as a function of sandwich material thickness.

Fig. 7에는 $Co_{30}Ag_{70}$ 합금박막의 두께를 300 Å으로 고정시키고 Co, Fe 및 $Ni_{81}Fe_{19}$ 의 상하지층으로 삼층박막으로 증착 하였을 때 그 강자성층의 두께에 따르는 비저항차 및 자기저항비의 변화를 보여준다. 상하지층이 Fe 또는 $Ni_{81}Fe_{19}$ 일 때 상하지층을 증착 함에 따라 비저항차는 증가하고 있으며 Co 상하지층일 경우에는 오히려 감소하고 있다. 이는 3층 막에서 합금층과 상하지층간의 계면의 저항이 큰 영향을 끼치기 때문이다. 이를 분석하기 위하여 3층막을 5개의 저항이 병렬 연결된 저항체로 가정하고 각 층의 저항은 개별적으로 측정하고 미지의 계면저항은 다음 식에 의하여 계산하였다. 전체저항은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{1}{Rt} = \frac{1}{Ru} + \frac{2}{Ri} + \frac{1}{Ra} + \frac{1}{Ro}$$

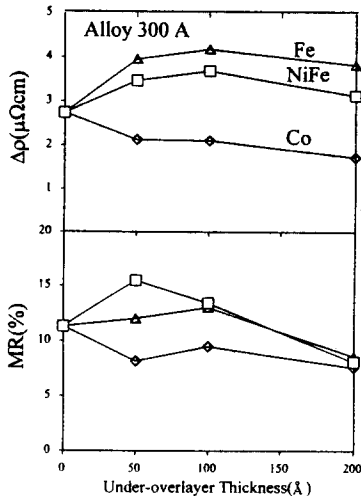


Fig. 7. $\Delta\rho$, MR % changes of the 300 Å thick $\text{Co}_{30}\text{Ag}_{70}$ alloy film as a function of sandwich materials and their thickness.

여기서 R_t 는 총 저항, R_u 는 하지층의 저항, R_i 는 계면 저항, R_a 는 합금층의 저항 그리고 R_o 는 상지층의 저항이다. Table I에는 합금층 및 상하지층 각각의 두께에 따르는 측정된 저항을 표시하였고 Table II에는 상하지층을 증착한 삼층박막에서 상하지층의 재료, 두께 그리고 합금박막의 두께에 따르는 측정된 저항치를 표시하였다. 이러한 측정치를 위 식에 대입하여 각 삼층박막의 계면적인 계면저항을 계산하여 Table III에 나타내었다. 상하지층이 Fe나 퍼말로이일 때와 Co일 때의 저항의 차이를 볼 수 있다. 즉 Fe 또는 퍼말로이를 증착한 경우 계면 저항이 개별적인 각 층의 저항이나 삼층박막의 저항에 비하여 매우 큰 반면, Co를 증착한 경우는 Co 개별 층의 저항과 비슷하거나 오히려 작다. 이러한 차이는 제조공정의 차이 때문이다. 즉 Co를 증착 하는 경우는 진공을 유지한 상태에서 3층 막을 제조하지만 Fe 또는 $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ 의 경우에는 대기에 노출시킨 후 다시 증착하기 때문에 계면에서 산화층이 형성된다. 그러므로 Co를 상하지층으로

Table I. Resistances of the underlayer and overlayer, and alloy films as a function of thickness.

Materials Thickness (Å)	Unit(Ω)			
	Fe	Co	$\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$	$\text{Co}_{30}\text{Ag}_{70}$
100	277	145	440	68
200	160	88	417	28
300				14

Table II. Resistance of the sandwiched films as a function of thickness.

Thickness(Å) Alloy thickness(Å)	Unit(Ω)					
	Fe 100	Fe 200	Co 100	Co 200	$\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ 100	$\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ 200
100	38	16	21	14	46	26
200	14	13	10	9	20	14
300	11	10	7	7	9	9

Table III. Calculated resistance of the interfaces in the sandwiched films.

Thickness(Å) Alloy thickness(Å)	Unit(Ω)					
	Fe 100	Fe 200	Co 100	Co 200	$\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ 100	$\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ 200
100	2247	163	105	59	804	106
200	124	59	40	41	205	65
300	86	49	35	38	57	57

증착 하는 경우에는 계면 산화층이 상대적으로 적다. 따라서 Fe와 퍼머로이를 상하지층으로 한 3층 합금박막의 자기저항비가 Co층을 상하지층으로 한 것보다 증가하는 이유는 계면 저항 분석에서 본 바와 같이 Fe나 $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ 의 경우 높은 저항을 갖는 계면 산화층이 형성되어 상하지층으로의 전류새어흐름이 감소되어 스핀의존산란이 증가하였기 때문이다. Co를 상하지층으로 증착 했을 때 비 저항차가 감소하는 또 다른 가능성은 합금층의 미세구조 변화를 예측해 볼 수 있다. 즉 합금층의 Co 입자의 크기

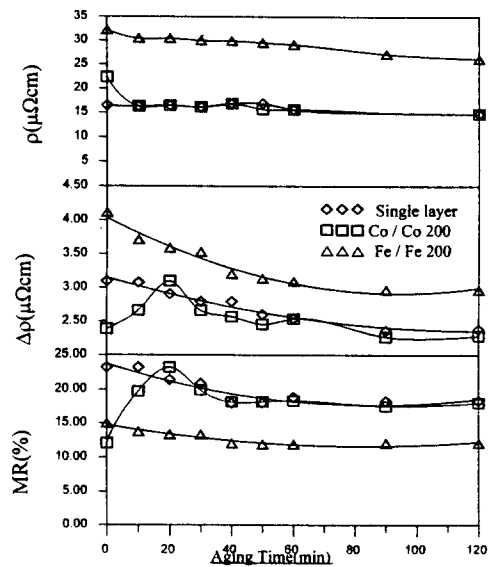


Fig. 8. ρ , $\Delta\rho$, MR % changes of the 3000 Å thick single layer $\text{Co}_{30}\text{Ag}_{70}$ alloy film, sandwiched films with 200 Å Co and Fe as a function of aging time. Aging temperature was 300 °C.

가 상하지층이 있을 때와 없을 때 그리고 재료에 따라 차이가 있을 수 있다. 이를 확인하기 위하여 순수 합금 박막과 3층 박막을 300 °C에서 시간을 달리하며 열처리하여 보았다. Fig. 8은 3000 Å 두께의 단일층 합금박막, Co 및 Fe를 상하지층으로 한 삼층박막의 비저항, 비저항차 및 자기저항비의 열처리 시간에 따르는 변화를 보여준다. 단일 합금층 및 Fe를 상하지층으로 증착한 합금박막의 경우 비저항차는 열처리 시간에 따라 단조 감소하고 있으나 Co를 상하지층으로 증착한 3층 박막은 비저항차가 초기에 증가하여 최대치를 보인 후 감소하고 있다. 즉 단일 합금층이나 Fe를 증착한 3층 박막은 자성체의 크기 및 분포가 증착상태에서 스핀의존 산란에 최적의 조건임을 시사하나 Co 3층 박막은 증착 상태에서의 자성체 크기가 최적 이하였다가 열처리함에 따라 최적상태가 되고 그 후 합금층내의 Co 입자 성장으로 표면적/체적비가 감소하여 비저항차 또는 자기저항비가 감소한다. 따라서 단일합금층에 비하여 Co를 상하지층으로 한 3층 합금박막내의 Co의 입자크기가 감소되었음을 간접적으로 시사한다.

IV. 결 론

- 1) Co₃₀Ag₇₀ 합금박막에 Co를 상하지층으로 증착 하였을 때 합금박막 내의 Co입자 크기 감소와 전류새어흐름 효과로 비저항차 및 자기저항비가 감소하였다. Fe 또는 Ni₈₁Fe₁₉를 상하지층으로 증착 하였을 때는 높은 계면저항으로 전류새어흐름의 감소로 비저항차가 증가하였다.
- 2) 상하지층 교환결합에 의한 합금박막의 포화자기장 감소 효과에는 Fe가 가장 컸다. Co는 상대적으로 이방성에너지가 크고 퍼머로이는 교환결합에너지가 작기 때문에 그 효과가 가장 적은 것으로 생각된다.
- 3) 100 Å 두께의 Co₃₀Ag₇₀ 단일 합금박막의 자기저항 및 포화자기장은 3.65 % 및 3.0 kOe 이었다. 200 Å의 Fe를 상하지층으로 정착한 합금박막의 자기저항은 3.3 %로 큰 변화가 없었고 포화자기장은 1.23 kOe로 개선되었다. 교환결합 효과를 얻는데 필요한 임계 합금층 두께는 약 300 Å 으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 95년도 교육부 학술연구조성비(신소재 분야)에 의하여 연구되었습니다. 연구비 지원에 사의를 표합니다.

참고문헌

- [1] J. Q. Xiao, J. S. Jiang, and C. L. Chien : Phys. Rev. Lett. **68**, 3749(1992).
- [2] A. E. Berkowitz, J. R. Mitchell, M. J. Carey, A. P. Young, S. Zhang, F. E. Spada, F. T. Parker, A. Hutten and G. Thomas : Phys. Rev. Lett. **68**, 3745(1992).
- [3] 이성래, 오용주, 김용혁, 대한금속학회지, **33**, (1995).
- [4] A. Tsoukatos, H. Wan, and G. C. Hadjipanayis, and Z. G. Li : Appl. Phys. Lett. **61**, 3059(1992).
- [5] J. A. Banard, A. Waknis, M. Tan, E. Haftek, M. R. Parker, and M. L. Watson : J. Mag. Mag. Mats. **114**, L230(1992).
- [6] M. J. Carey, A. P. Young, A. Starr, D. Rao, and A. E. Berkowitz: Appl. Phys. Lett. **61**, 2935 (1992).
- [7] W. Y. Lee, V. R. Deline, G. Gorman, A. Kellock, D. Miller, D. Neiman, R. Savoy, J. Vazquez, and R. Beyers : J. Appl. Phys. **74**, 5871 (1993).
- [8] M. B. Sterns and Y. Chang : J. Appl. Phys. **75**, 6894(1994).
- [9] 이수열, 이성래 : 한국자기학회지, **5**, 48(1995).
- [10] S. A. Makhlof, K. Sumiyama, K. Wakoh, and K. Suzuki : Jpn. J. Appl. Phys. **33**, 3132(1994).
- [11] J. S. Jiang, J. Q. Xiao, and C. L. Chien : Appl. Phys. Lett. **61**, 236(1992).
- [12] 이성래 : 한국자기학회지 **5**, 222(1995).
- [13] T. L. Hylton, K. R. Coffey, M. A. Parker, and J. K. Howard : Science **261**, 1021(1993) ; ibid : J. Appl. Phys., **75**, 6382(1994).
- [14] J. H. Du, Q. Li, L. C. Wang, H. Sang, S. Y. Zhang, W. Du and D. Feng, J. Phys. D. **7**, 9425 (1995).
- [15] B. Dieny, P. Humbert, V. S. Speriosu, B. A. Gurney, P. Baumgart and H. Lefakis :, Phys. Rev. **B45**, 806(1992)
- [16] C. Yu, Y. Yang, S. Li, W. Lai and Z. Wang, J. Appl. Phys. **76**(10), 6487(1994).
- [17] J. R. Mitchell and A. E. Berkowitz, J. Appl. Phys. **75**(10), 6912(1994).
- [18] 이용규, 이성래, 한국자기학회지, **6**(2), 86(1996).

Giant Magnetoresistance Behavior and the Effect of Ferromagnetic Layer on the Co-Ag Nano-granular Alloy Films

Yonghyuck Kim and Seong Rae Lee

Division of Materials Science and Engineering

Korea University, Seoul 136-701

(Received 1 December 1996, in final form 22 February 1997)

The magnetoresistance and the saturation field behavior of the Co-Ag nano granular films as a function of the composition and the ferromagnetic underlayer and overlayer materials were investigated. The maximum magnetoresistance of 23 % and the saturation field of 2.3 kOe at room temperature were obtained in the as-deposited 3000 Å $\text{Co}_{30}\text{Ag}_{70}$ single alloy films. The magnetoresistance and the saturation field of 100 Å $\text{Co}_{30}\text{Ag}_{70}$ alloy film were 3.65 % and 3.0 kOe respectively. Those of the sandwiched films with 200 Å Fe were 3.3 % and 1.23 kOe respectively. The saturation field of the sandwiched alloy films could be reduced by the exchange coupling between the ferromagnetic layers and the alloy layer. The effective depth of the exchange coupling was approximately 150 Å in each Fe layer. Among the Fe, Co, and FeNi, the most effective materials to reduce the saturation field of the sandwiched alloy films was Fe.