

# Ag-CoFe 합금박막의 자기저항 및 강자성 상하지층의 효과

김용혁 · 이성래

고려대학교 재료금속공학부

(1997년 11월 6일 받음, 1997년 11월 29일 최종수정본 받음)

조성과 강자성 상하지층이 CoFe-Ag 나노입상 합금박막의 거대자기저항과 포화자기장에 미치는 효과에 대하여 연구하였다. 3000 Å 두께의  $(Co_{92}Fe_8)_{31}Ag_{69}$  합금박막에서 최대 자기저항 25.7%를 얻었고, 그 때 포화자장은 2.1 kOe이었다. 100 Å 두께의 박막은 자기저항비가 1.2%이고 포화자장은 5.2 kOe이었다. 200 Å 두께의 합금박막에 100 Å Fe를 상하지층으로 증착하였을 때 자기저항은 9.5%에서 11%로 증가하였고 포화자기장은 2.8 kOe에서 1.8 kOe로 개선되었다. 300 Å 이하의 합금박막에 강자성 상하지층의 피복은 교환결합에 의하여 합금박막의 포화자기장을 감소시키는 효과가 있었다. 강자성 상하지층에 의한 자기저항의 증가는 표면에서의 전도전자의 스핀 전도산란의 감소와 계면저항에 의한 전류세어흐름의 감소로 기인되는 것으로 보인다. 자기저항의 증가 효과는 합금박막의 두께가 약 300 Å 이하에서 나타났다. 교환결합 강자성체인 NiFe 그리고 Fe 중에서 Fe가 교환결합에 의한 포화자기장 감소에 좀더 효과적이었다.

## I. 서 론

다층박막에 비해 합금박막은 제조 공정이 용이하고 열적 안정성이 우수한 장점이 있으나 자화과정이 자성체 입자의 스핀회전에 의한 과정을 거치고, 비자성도체 내에 초상자성 거동을 하는 자성체 입자가 존재하여 본질적으로 포화자기장이 큰 점이 실제 응용 시 단점이다. 합금박막에서의 포화자기장을 감소시키기 위한 연구는 현재까지 거의 이루어지지 않은 상태이지만 합금박막으로 이루어진 자기저항 소자가 현재 사용되고 있는 센서를 대체하려면, 자기저항비는 2% 이상이어야 하고 최대 자기저항비의 50%를 얻기 위한 자기장인  $H_{50}$ 가 20 Oe 미만이며, 그 때의 자기저항민감도 ( $MR\%/H_{50}$ )가 0.5%/Oe 이상이어야 한다고 Hylton은 제시하고 있다. [1] 이 정도의 자기저항 민감도는 그가 Ag-NiFe 불연속다층막에서 [2] 얻은, 상온에서 4~6%의 자기저항비와 5~10 Oe 정도의 자장에 비교될만한 값이고, 상온에서 이러한 크기의  $H_{50}$ 을 얻으려면 자성체 입자의 크기가 200~300 Å 정도의 크기를 지녀야 한다. 그러나 이러한 입자크기의 증가는 오히려 표면적/부피 비를 감소시켜 결과적으로 자기저항비를 감소시키는 결과를 가져온다. [3] 이와 같이 포화자기장 감소와 자기저항비의 증가는 서로 상반된 관계이다.

합금박막에서 포화자기장에 미치는 요인은 강자성체의 결정자기이방성, 형상이방성 및 입자의 크기에 따르는 초상자성 특성 등이다. 일축 (uniaxial) 이방성을 갖는 단자

구 입자들의 자화방향이 무질서한 배열일 경우는 평균적으로 0.64 K/ $M_s$ 로 표시된다. [4] 여기서 K는 결정자기이방성 상수,  $M_s$ 는 포화자화값이다. Kitada 등은 [5] Ag-Co 합금에 Ni를 첨가하여 결정자기이방성 상수를 줄여 포화자기장을 약 8 kOe에서 3 kOe로 줄일 수 있었다. 또한 Tsoukatos 등은 [6] 스핀터로 행한 실험에서 Ag-Co계에 비해 Ag-(CoFe)계 박막이 가지는 가장 큰 특징은 포화자기장의 감소라고 언급한 바 있다. 또한 자성입자의 크기에 따르는 초상자성 거동으로는 주어진 조건에서 자성체 입자가 어떤 임계크기 ( $D_p$ )이하로 작아진다면 열적 교란에 의해 자성체 입자는 초상자성 거동을 보이고 이러한 입자들을 정렬시키기 위해서는 열에너지를 극복해야 하는 부가적인 에너지가 요구된다. 스핀터로 제작된 Ag-Fe 합금박막에서는 자성체 입자의 크기가 10 Å에서 200 Å 정도의 분포를 [7] 지니고 작은 크기의 입자들은 8 T의 큰 외부자기장에서도 포화시키기 어려워 포화자계가 커질 수밖에 없다. 또한 형상이방성에 의한 포화자기장이 결정자기이방성에 의한 것보다 적으려면 자성체 입자는 거의 구형이어야 한다. 따라서 단순히 합금의 종류, 조성 및 열처리로서는 위의 세 가지 요인을 만족시키기에는 어려움이 있다.

Co-Ag 합금박막은 증착된 상태에서 비교적 높은 자기저항비 (상온, 10 kOe에서 23%)가 관찰되었다. Co에 Fe를 첨가하여 결정자기이방성 상수를 낮추는 것 이외에 합금박막 상하지층에 강자성체를 피복하여 거대자기저항 및 포화자기장에 미치는 효과를 연구하였다.

## II. 실험 방법

### 2-1. 합금박막제조

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

기판은 Corning사의 2948 유리 슬라이드를 사용하였으며 마스크를 사용하여 자기저항소자 및 전극을 형성하였다. 합금박막의  $\text{Co}_{100-x}\text{Fe}_x$  조성은 Fe가 70%까지 변화시켰으며 전체 자성체 조성은 31 at.%로 일정하게 유지하였다. 최적의 자기저항을 얻은  $\text{Ag}_{69}(\text{Co}_{100-x}\text{Fe}_x)_{31}$  조성의 합금박막의 두께를 100에서 3000 Å까지 변화시키고 Fe 및  $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$  상하지층을 100 및 200 Å의 두께로 증착하였다. Fe 및  $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$  상하지층으로 한 삼층박막은 하지층을 증착한 후 합금박막을 증착한 후 두번 대기에 노출시키며 증착되었다. 대기에 노출된 시간은 약 5분 정도이다. 3층막의 경우에 통전 시킨 전류가 상하지층으로 새어 흐르는 것을 최소화하기 위해 진류단자 및 전위차 단자가 합금층에 직접 접촉하도록 박막을 제작하였다.

### 2-2. 구조분석

X선 회절 실험은 Rigaku사 D/MAX-RC 12 kW 박막용 분석기를  $\text{Cu K}\alpha(\lambda = 1.542 \text{ \AA})$  및 Ni 필터를 사용하여 행하였다. 박막의 미세구조와 결정구조는 JEOL사 JEM-1200EX 투과전자현미경을 사용하여 명시야상과 제한시야회절 상을 통하여 관찰했으며 가속전압은 120 kV 이었다. TEM 관찰용 박막은  $\text{SiO}_2$ 가 덧씌워진 200 mesh Cu 그리드 위에 합금박막을 100 Å~500 Å 두께로 증착하였다.

### 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  $\pm 10$  kOe까지 박막면에 평행하게 자장을 가하면서 상온에서 측정하였다.

자기저항측정장치는 약  $\pm 10$  kOe까지의 자기장에서 표준 4 탐침법으로 측정하였다. 모든 측정장비는 IEEE488 인터페이스를 이용하여 PC에 연결하여 데이터를 수집 및 제어하였다. 포화자기장( $H_s$ )은 전체 자기저항이력곡선으로부터 1/2되는 자기저항비를 얻은

데 필요한 외부자장으로 정의하였다.

열처리하는 관상로를 이용하여 99.99% 고순도 아르곤가스와 99.99% 고순도 수소가스를 혼합한 환원분위기 하에서 열처리온도, 300 °C 그리고 열처리시간을 120분까지 행하였다.

## III. 결과 및 고찰

Fig. 1은 합금박막의 두께를 3000 Å, 자성체 전체의 조성을 31 at.%로 고정시키고 CoFe 합금의 Fe 조성을 70 at.%까지 변화시켰을 때의 비저항( $\rho$ ), 비저항차( $\Delta\rho$ ), 자기저항비(MR%), 포화자기장( $H_s$ ) 변화 양상이다. 비저항은 17  $\mu\Omega\text{cm}$ 에서 Fe가 첨가됨에 따라 비저항이 급격히 증가하여 12 at.% Fe에서 21.7  $\mu\Omega\text{cm}$ 를 보이고 다소 감소한 후 다시 점차 증가하여 Co/Fe 비가 50/50이 되는 즉 무질서도가 가장 큰 조성 근처에서 최대 23  $\mu\Omega\text{cm}$ 를 보이고 있다. 평형상태에서는 Ag 기지에 Co나 Fe는 거의 고용되지 않는다. 그러나 증착된 합금박막은 Ag 도체 기지에 자성체가 과고용된 준안정상태의 구조로 존재한다. 자성체가 Ag 비자성도체에 고용된 양에 점결함 농도가 좌우되고 그에 따라 비저항이 변화하게 된다. 증착된 상태 및 자성체 농도가 같을 때 Ag-CoFe의 비저항이 Ag-Co에 비하여 최대 35% 정도 더 컸다. 이는 결함에 의한 전도전자의 산란이 2상 보다 3상 합금에서의 더 크기 때문이라 보인다. bulk CoFe에서 Fe 함량에 따르는 비저항의 변화를 보면 초기에 증가했다가 감소한 후 다시 증가하며 이러한 경향은 본 비저항 거동과 유사하게 나타났다. [10]

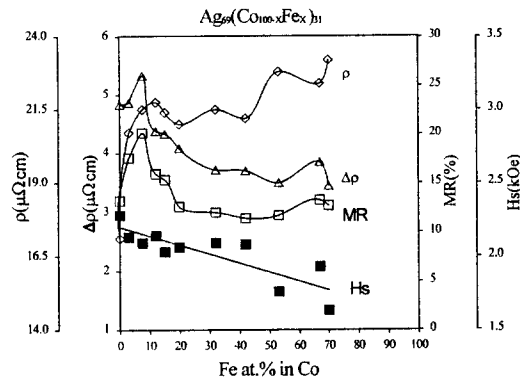


Fig. 1. The variation of  $\rho$ ,  $\Delta\rho$ , MR%, and  $H_s$  as a function of Fe content in  $(\text{Co}_{100-x}\text{Fe}_x)_{31}\text{Ag}_{69}$  alloy films. The thickness of the alloy films is 3000 Å.

비저항차( $\Delta\rho$ )는 Fe 첨가에 따라 증가하여 8 at.% 조성에서 최대로 나타내고 그 후에 감소하여 일정한 값에 수렴하고 있다. 비저항차는 스핀의존산란의 크기에 비례하며 스핀의존산란은 자성체의 크기와 분포에 의존한다. Ag-Co 합금박막에서는 Co 함량이 증가함에 따라 단조롭게 고용량이 증가하며 그에 따라 비저항도 단조 증가하는 양상을 보인다. [9] 그러나 Fig. 2를 보면 Fe의 함량에 따라 Ag기지에 고용되는 양이 단조 증가 또는 감소하는 것이 아니고 Fe 조성이 8-10 at.% 일 때 전체 자성체의 고용도가 가장 작았고 Fe 함량이 그 이상 증가하면 고용도가 다시 증가하는 양상을 보이고 있다. 이 조성에서 최대 비저항차가 관찰된 것은 Ag기지에 고용되어 상자성화되는 자성체가 적어 이 조성이 자성체의 크기 및 분포가 최적의 스핀의존산란조건이기 때문이라 생각되며 그 외에 자기적 특성의 변화(결정자기이방성, 교환에너지 등)에 의한 요인은 현 결과로서 분석하기 어렵다.

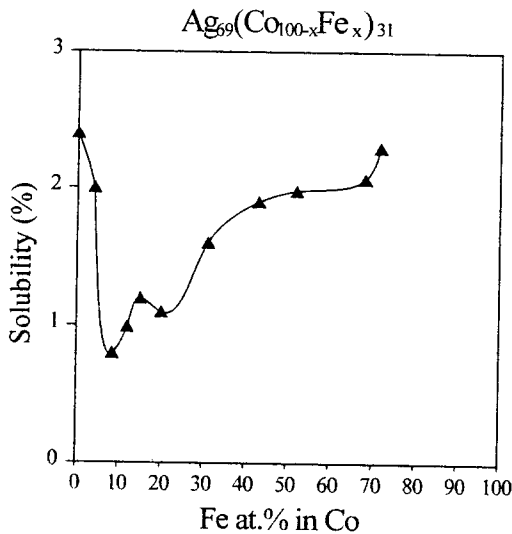


Fig. 2. The solubility change of as-deposited  $(\text{Co}_{100-x}\text{Fe}_x)_{31}\text{Ag}_{69}$  alloy film as a function of Fe composition.

자기저항비(MR%)는 증착된 상태의 두께  $3000 \text{ \AA}$ , 8 at.% Fe 즉  $(\text{Co}_{92}\text{Fe}_8)_{31}\text{Ag}_{69}$  조성에서 25.7%의 최대값을 보였다. 이는 증착된 상태에서 10 kOe 자장과 상온에서 현재까지 보고된 것 중 가장 큰 자기저항비이다. 한편 Fe의 함량이 증가함에 따라 포화자기장  $H_s$ 는 완만히 감소하여 70 at.% Fe 합금박막의 경우 1.7 kOe가 관찰되었다. 이상 결과에서 Fe의 첨가로 자기저항비를 높이고 포화자장을 낮출 수 있는 조성영역은 8 at.% Fe으

로 확인되었고 자기저항비의 희생이 따르더라도 포화자기장을 더 낮추기 위해서는 Fe의 함량을 더 증가 시켜야 한다.

증착된 상태의 박막이 자기저항에 최적조건인지를 확인하기 위해  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 수소 및 아르곤 혼합가스의 환원 분위기에서 열처리하여 시간에 따르는 자기저항의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 열처리 시간 10분 안에 비저항, 비저항차 및 자기저항비가 급격히 감소하였다. 증착된 상태의 합금박막에 존재하는 점결합들 즉 과고용된 CoFe의 석출 및 공공(vacancy) 등의 농도가 감소하여 비저항이 감소한다. 비저항차가 감소한 것은 최적 상태였던 자성체 클러스터가 성장하면서 자성체의 표면적/체적 비율이 감소하고 따라서 스핀의존산란 효과가 감소하기 때문이며 결과적으로 자기저항비도 같은 경향으로 감소하였다. Co-Ag 합금박막과 마찬가지로 [9] CoFe-Ag 합금박막도 상온에서는 증착상태가 자기저항에 최적 상태임을 알 수 있다. Ag/Co 다층박막의 연구결과에 따르면 Ag의 두께가  $60 \text{ \AA}$  이상일 때, Co층간의 교환결합이 소실된다. [11] 그러나 Ag 기지에 강자성체 입자가 존재한다면 강자성층간의 교환결합이 유지되는 사이층의 두께는 Ag 기지에 분산되어 있는 강자성체 입자들의 영향으로 증가하며 AgCo 합금박막의 경우 약  $300 \text{ \AA}$  정도로 나타났다. [9]

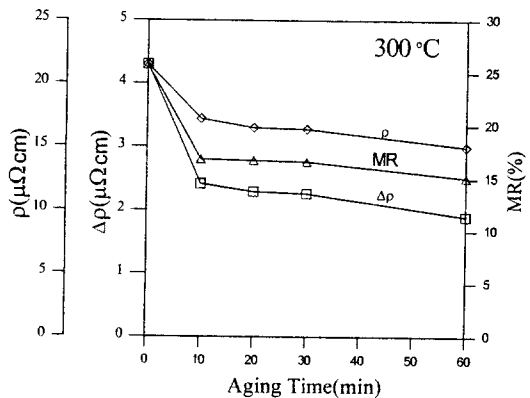


Fig. 3. The  $\rho$ ,  $\Delta\rho$  and MR% change of  $(\text{Co}_{92}\text{Fe}_8)_{31}\text{Ag}_{69}$  alloy film as a function of aging time. Aging temperature was  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Fig. 4는  $(\text{Co}_{92}\text{Fe}_8)_{31}\text{Ag}_{69}$  합금박막의 두께를  $100 \text{ \AA}$ 으로 고정시키고 상하지층으로 Fe를 100 및  $200 \text{ \AA}$  증착하였을 때 비저항, 비저항차, 자기저항 그리고 포화자기장 변화양상이다. 비저항은 단층 합금박막에 비하여 삼층 박막에서 증가하고 있다. 예를 들어 상하지층을  $200 \text{ \AA}$  증

착한 박막은 100 Å 두께의 합금박막에 비해 두께가 5배나 뒤편에도 불구하고 비저항은 오히려 2배 이상 증가하였다. 이는 Ag-Co 연구 결과에서 분석한 것과 마찬가지로 계면 산화층의 영향이 큰 것으로 보인다. [9] 즉 Fe를 상하층으로 증착할 때에는 대기에 노출시킨 후 증착하기 때문에 계면에서 저항이 높은 산화층이 형성된다.

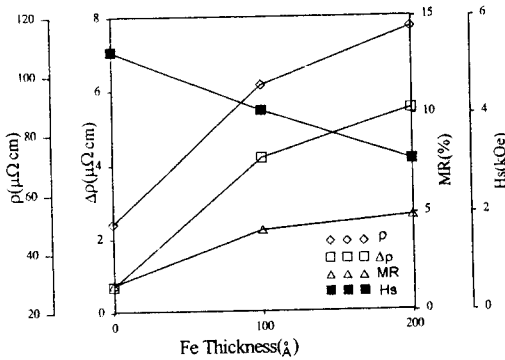


Fig. 4. The  $\rho$ ,  $\Delta\rho$ , MR% and  $H_s$  change of 100 Å  $(Co_{92}Fe_8)_{31}Ag_{69}$  alloy film as a function of Fe exchange coupled layer thickness.

Table I에 각 박막에 대한 저항을, 3층막의 저항치를 Table II에 요약했다. 한편 비저항차도 상하층을 증착함에 따라 증가하고 있다. 그 원인은 몇 가지로 분석할 수 있다. 첫째는 강자성층과 합금층내의 자성체 입자간의 교환결합 효과이다. 합금층 내에 있는 자성체 입자 중 초상 자성 입체 크기 이하인 경우 상온에서 10 kOe의 외부 자기장으로는 완전히 스핀 정렬을 이루기 어렵다. 그러나 합금층의 상하에 연자성 강자성체를 피복하면 상하층은 작은 외부 자기장에 의해 자기모멘트가 정렬되고 상하층에 인접한 자성체 입자들이 상하층과의 교환결합에 의해 스핀 회전이 용이하게 된다. 따라서 합금층 내의 강자성 입자들의 스핀 정렬이 증가되고 결과적으로 비저항차가 증가된다. 둘째는 전도전자의 표면에서 산란은 박막 두께가 얇아짐에 따라 그 기여가 증대된다. 표면에서 spin-orbit 산란으로 전도전자의 스핀 정보를 잃어버리는 surface induced spin flipping에 의하여 [12] 스핀의존산란이 감소하여 비저항차 및 자기저항비가 감소하게 된다. 그러나 표면에 강자성층이 존재하면 spin orbit 산란의 감소 즉 스핀 전도의 감소 [13]로 전자의 스핀정보를 잃는 것이 감소하므로 비저항 또는 자기저항비가 증가하게 된다. 셋째, 계면 저항 분석에서 본 바와 같이 높은 저항을

갖는 계면 산화층이 형성되어 상하층으로의 전류새어 흐름이 감소되어 합금층에서 스핀의존산란이 증가된다. 이와 같이 매우 얇은 합금박막 상하에 입힌 강자성층은 위에 언급한 3가지의 효과에 의한 비저항차가 증가하는 자기저항 거동과 교환결합 효과에 의하여 포화자기장이 감소하는 결과를 얻을 수 있었다. 즉 100 Å 두께의 단층 합금박막의 자기저항은 1.2%, 포화자장은 5.2 kOe이었으나 200 Å 두께의 Fe를 상하층으로 증착한 삼층박막에서는 자기저항은 5%로 증가하였고, 포화자기장은 3 kOe으로 개선할 수 있었다.

Table I. The resistances of  $(Co_{92}Fe_8)_{31}Ag_{69}$  Alloy film, and underlayer and overlayer as a function of thickness. Unit ( $\Omega$ )

Thickness (Å)	Materials			
	Fe	Co	$Ni_{81}Fe_{19}$	$(Co_{92}Fe_8)_{31}Ag_{69}$
100	277	145	440	76
200	160	88	417	25

Table II. Resistance of the sandwiched films as a function of thickness. Unit ( $\Omega$ )

Alloy thickness (Å)	Thickness (Å)				
	Fe	Fe	Co	$Ni_{81}Fe_{19}$	$Ni_{81}Fe_{19}$
100	48	35	23	33	31
200	24	20		18	16
300	13	16	11	12	10

Fig. 5는  $(Co_{92}Fe_8)_{31}Ag_{69}$  합금박막의 두께를 200 Å으로 하고 Fe 상하층의 두께를 100 및 200 Å으로 하였을 때 비저항, 비저항차 및 자기저항비의 변화 양상이다. 합금박막의 두께가 100 Å 일 때와 유사한 경향을 보이고 있다. 비저항은 합금박막이 100 Å 일 때 보다 감소하였으나 Fe 상하층을 입혔을 때 증가하는 경향은 동일하였다. 상하층의 두께가 100 Å 일 때 자기저항비는 9.5에서 11%로 증가하였고 포화자기장은 2.8에서 1.8 kOe로 감소하였다. Fig. 6은  $(Co_{92}Fe_8)_{31}Ag_{69}$  합금박막의 두께를 100에서 300 Å으로 변화시킬 때 Fe 상하층 두께에 따른 포화자장 변화 양상이다. 100 및 200 Å 두께의 합금박막은 포화자기장의 감소효과가 두드러지나 300 Å

의 경우 거의 변화가 없었다. 강자성 교환결합층에 의한 포화자기장 감소 효과는 Ag-Co 합금박막에서의 결과와[9] 유사하게 합금박막 두께가 300 Å 이하일 때 나타난다.

감소효과가 작았다. 이는 퍼멀로이보다 Fe가 교환결합 상수 J 값이 크기 때문이라 사료된다.

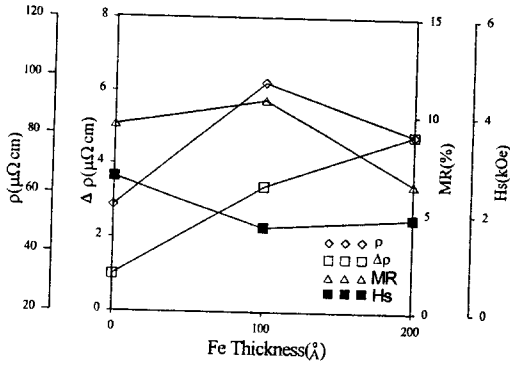


Fig. 5. The effect of Fe exchange coupled layer on the  $\rho$ ,  $\Delta\rho$ , MR and  $H_s$  in 200 Å  $(\text{Co}_{92}\text{Fe}_8)_{31}\text{Ag}_{69}$  alloy film.

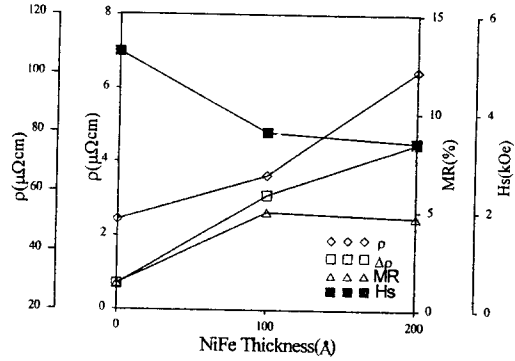


Fig. 7. The effect of  $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$  exchange coupled layer on the  $\rho$ ,  $\Delta\rho$ , MR and  $H_s$  in 100 Å  $(\text{Co}_{92}\text{Fe}_8)_{31}\text{Ag}_{69}$  alloy film.

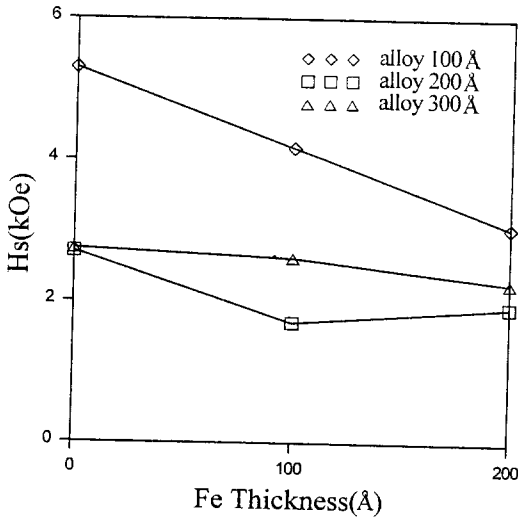


Fig. 6. The variation of  $H_s$  as a function of Fe exchange coupled layer thickness in 100, 200 and 300 Å  $(\text{Co}_{92}\text{Fe}_8)_{31}\text{Ag}_{69}$  alloy film.

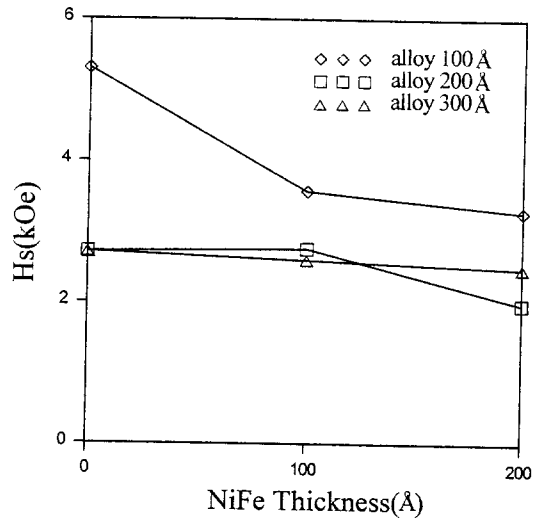


Fig. 8. The variation of  $H_s$  as a function of  $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$  exchange coupled layer thickness in 100, 200 and 300 Å  $(\text{Co}_{92}\text{Fe}_8)_{31}\text{Ag}_{69}$  alloy film.

#### IV. 결 론

Fig. 7, 8은 상하지층으로 퍼멀로이를 증착하였을 때 자기저항거동 및 포화자기장 변화양상을 나타낸 것이다. 전체적으로 Fe에 비하여 비저항차의 증가와 포화자기장의

1) 3000 Å 두께의  $(\text{Co}_{92}\text{Fe}_8)_{31}\text{Ag}_{69}$  합금박막에서 최대 자기저항 25.7%를 얻었고 그 때 포화자기장은 2.1 kOe 이었다. 100 Å 두께의 박막은 자기저항비가 1.2% 이고 포화자기장은 5.2 kOe 이었다.

- 2) 100 또는 200 Å 두께의  $(Co_{92}Fe_8)_{31}Ag_{69}$  합금박막에 Fe 또는 퍼멀로이 상하지층을 증착했을 때 상하 강자성층과 합금박막내의 강자성 입자와의 교환결합 효과, 표면에서 스핀전도 산란의 감소와 높은 계면저항에 의한 전류새어흐름의 감소로 인해 비저항차가 증가한 것으로 보인다.
- 3) 200 Å 두께의  $(Co_{92}Fe_8)_{31}Ag_{69}$  합금박막에 100 Å Fe를 상하지층으로 증착하였을 때 자기저항은 9.5 %에서 11 %로 증가하였고 포화자기장은 2.8 kOe에서 1.8 kOe로 개선되었다. 퍼멀로이보다는 Fe가 포화자기장 감소효과가 컸으며, 이는 Fe가 퍼멀로이에 비하여 교환결합 상수가 크기 때문이라 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 96년도 교육부 학술연구조성비(신소재 분야)에 의하여 연구되었습니다. 연구비 지원에 사의를 표합니다.

### 참고 문헌

[ 1 ] T. L. Hylton, Appl. Phys. Lett. **62**(19), 2431 (1993).

[ 2 ] T. L. Hylton, K. R. Coffey, M. A. Parker, and J. K. Howard, Science, **261**, 1021 (1993).

[ 3 ] J. M. Daughton and Y. J. Chen, IEEE Trans. Mag. **29**(6), 2705 (1993).

[ 4 ] B. D. Cullity, Introduction to magnetic materials, Addison-Wesley, chap. 11 (1972).

[ 5 ] M. Kitada, K. Yamamoto and N. Shimizu, J. Magn. Mater. **124**, 243 (1993).

[ 6 ] A. Tsoukatos, D. V. Dimitrov, A. S. Murthy and G. C. Hadjipanayis, J. Appl. Phys. **76**(10), 6674 (1994).

[ 7 ] J. Q. Xiao, J. S. Jiang and C. L. Chien Phys. Rev. **B46**, 9266 (1992).

[ 8 ] 이수열, 이성래, 한국자기학회지, **5**, 48(1995).

[ 9 ] 김용혁, 이성래, 한국자기학회지, **7**, 31(1997).

[ 10 ] R. M. Bozorth, Ferromagnetism, Van Nostrand Co. p. 193 (1951).

[ 11 ] 이용규, 이성래, 한국자기학회지, **6**(2), 86(1996).

[ 12 ] Jian-Qing Wang and Gang Xiao, Phys. Rev. **B51**, 51(1995).

[ 13 ] J. Wiggins, M. L. Watson, P. A. Gago-Sandoval, and K. O'Grady, J. Appl. Phys. **79**, 5590(1996).

## Effect of Ferromagnetic Layer and Magnetoresistance Behavior of Co-Evaporated Ag-CoFe Nano-Granular Alloy Films

Yonghyuck Kim and Seong-Rae Lee

*Division of Materials Science and Engineering*

*Korea University, Seoul 136-701*

(Received 6 November 1997, in final form 29 November 1997)

The magnetoresistance(MR) and the saturation field behavior of the CoFe-Ag nano granular films as a function of the ferromagnetic underlayer and overlayer materials were investigated. The maximum MR ratio of 25.7 % and the saturation field of 2.1 kOe in the as-deposited 3000 Å  $(Co_{92}Fe_8)_{31}Ag_{69}$  single alloy films at room temperature were obtained. The MR ratio and the saturation field of the 100 Å alloy film were 1.2 % and 5.2 kOe, respectively. Those of the sandwiched alloy films of 200 Å thick with the Fe under and overlayer of 100 Å were 11 % and 1.8 kOe respectively. The reduction of saturation field in the sandwiched alloy films is due to the exchange coupling between the ferromagnetic layers and the alloy layer. Among the Fe and FeNi, the more effective materials to reduce the saturation field of the sandwiched alloy films was Fe.