

Co/Ag 다층박막의 구조 및 자기저항 현상에 관한 연구

이용규 · 이성래

고려대학교 공과대학 금속공학과
서울특별시 성북구 안암동 5-1, 136-701

(1996년 1월 12일 받음, 1996년 5월 3일 최종수정본 받음)

열진공증착 방법으로 제작한 Ag/Co 다층박막의 구조, 자성 및 자기저항에 관하여 연구하였다. Ag층의 두께가 60 Å 정도로 두꺼울 때는 Co 두께가 5 Å에서도 비교적 균일한 다층박막의 형태를 이루어서 대부분의 Co층이 강자성의 성질을 가지나 Ag층의 두께가 30 Å으로 얇고 Co가 15 Å 이하일 경우에 Co층이 섬형화된 불연속 다층박막이 형성되어 섬형화된 많은 부분의 Co가 초상자성 성질을 가졌다. 또한 열처리에 의하여 Co의 섬형화가 진전되어 MR비가 증가 되었다. 3000 Å 두께의 Ag30 Å/Co10 Å 불연속 다층박막에서 최대 6.1%의 자기저항비를 얻었으며 SiO를 하지층으로 입힐 경우 1000 Å 다층박막에서 총상 구조의 개선으로 반강자성 결합 및 자기저항비가 증가 되었다.

I. 서 론

자성/비자성도체 다층박막에서 비자성층의 적절한 두께에서는 인접한 자성층간에 반강자성 결합을 하며 이때 자기저항이 크게 변하는 거대자기저항(GMR) 현상이 Fe/Cr[1] 다층박막에서 처음 발견된 이래 Co/Cu[2], Co/Ag[3], NiFe/Ag[4], FeCo/Cu[5], NiFeCo/Cu[6], Co/Cu/NiFe/Cu[7], FeMn/FeNi/Cu/FeNi[8] 등의 여러 다층박막 계에서 GMR 현상 및 포화 자기장 감소 측면에서 많은 연구가 진행되어 오고 있다. 강한 반강자성 결합을 하는 다층박막에 [1, 2] 비하여 자기저항비는 다소 작으나 포화자기장을 성공적으로 감소시킨 계는 주로 사이층 도체를 Cu를 사용한 비결합형 spin valve[7] 및 교환결합(exchange-biased) spin valve 구조의 [8] 다층박막이다. Cu에 비하여 비저항이 작은 Ag를 사용한 교환결합형 다층박막에서 자기저항비나 포화자기장 측면에서 오히려 모두 좋은 결과를 얻지 못하였다. 이는 주로 계면에서의 결정 정합성과 관련한 다층박막 총상구조와 계면 결정성이 Cu인 경우가 우수하기 때문이다.

초상자성(superparamagnet) 특성을 갖는 강자성체 입자들이 비자성도체 기지 내에 분산된 미세입상(nano-granular) 합금박막에서도 GMR 현상이 발견되었으며 [9] 미세입상 합금박막은 박막 제조 공정이 다층박막보다 용이하다는 이점이 있으나 본질적으로 포화자기장이 크다. 합금박막에서의 포화자기장을 감소시키기 위한 연구는 현재까지 거의 이루어지지 않은 상태이며 단자구 입자의 스핀회전에 의한 자화반전 기구가 유지되고 입자 크기

분포가 넓은 경우에는 단순히 자성체의 열연화를 통한 결정자기이방성 에너지 감소만으로는 포화자기장 감소에 큰 효과를 기대할 수 없다. [10] 입자의 크기와 분포를 단순히 조성에 따라 열처리 조건을 달리하여 원하는 크기와 좁은 분포로 제어한다는 것은 어렵다. 따라서 이를 개선하기 위하여 제안된 한 방법은 불연속 다층박막(discontinuous multilayers) 형태로 제조하는 것이다. [11]

따라서 균질한 다층박막 형성이 용이하지 않은 Ag/Co계에서 동시열 진공증착 방법으로 다층박막을 제조하여 각 층의 두께, 하지층 및 열처리등에 의한 다층박막의 구조와 불연속 다층박막 구조의 형성 조건을 분석하고 자기저항현상에 미치는 영향을 연구하였다.

II. 실험 방법

시편 제작

다층박막은 2대의 quartz crystal oscillator(XTC)에 의해서 각 원소의 증착 속도 및 증착된 두께가 자동 측정되는 자동제어 동시열진공증착장치(automatic controlled thermal coevaporator)를 사용하여 제작하였다. 각 층의 두께 및 전체두께는 PC로 제어되는 셔터의 개폐 시간과 횡수 그리고 각 원소의 증착 속도를 제어하여 조절하였다. 사용한 원소의 순도는 각각 99.9%이었으며 증착전 진공도는 10^{-7} Torr였으며 증착 중에는 $\sim 10^{-6}$ Torr를 유지하였다. 다층박막은 glass 위에 Ag/Co/Ag/Co/Co/Ag의 순서로 반복하여 증착하였다. 다층박막의 총 두께는 약 1000 및 3000 Å으로하였고 각층의 두께는 5~70 Å사이에서 변화시켰다. 증착된

다층박막을 고순도 Ar 분위기 하에서 200~400 °C 온도 범위에서 10, 30, 60분간 열처리를 행하였다.

구조 분석

실험적으로 얻은 회절상과 이상적 초격자 모델과 Ag 및 Co층 그리고 계면에서의 두께가 가우시안 분포로 반복진동(fluctuation) 한다고 가정한 모델[12]을 사용하여 계산된 회절상과 비교하여 다층박막의 구조분석을 행하였다. 이 때 사용한 X-선 회절기는 Rigaku사(Gerger flux model 2023) 회절기이며 사용한 X-선은 Cu K α 이다.

자기 및 자기저항 측정

자화값(M), 포화자기장(H_s), 보자력(H_c) 및 자기적 성질의 변화는 VSM(Vibrating Sample Magnetometer)을 이용하여 상온에서 박막 면에 평행한 방향으로 $\pm 10 \text{ kOe}$ 까지 자기장을 가하여 측정하였다. 자기저항 측정 방법은 4단자 방법을 사용하였으며, 전자석, Keithley사의 전압/전류 공급기, nanovoltmeter, multimeter를 IEEE488 interface로 제어하여 PC로 데이터를 수집하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. Ag/ Co 다층박막의 구조 및 자성

Fig. 1은 Ag30 Å / Cox ($x=5, 10, 15, 20, 25 \text{ \AA}$) 다층박막의 측정된 x-선 회절상(실선)과 이상적 초격자 모델(수직선) 및 다층박막을 각 층 및 계면 두께의 진동변화(fluctuation)를 도입한 모델(점선)[12]에 의해 계산된 회절상과 비교한 것을 보여준다. Co의 두께가 15 Å 이하인 다층박막의 실제 회절상은 두 모델로 계산된 회절상과 피이크의 위치 및 피이크 폭에 있어서 큰 차이를 보여주고 있다. 특히 Co의 두께가 5 Å인 경우 피이크 위치가 계산된 것과 큰 차이를 보인다. 각 층 및 계면 두께의 가우시안 분포를 도입시켜 실제 회절상과 최적 fitting 계산한 회절상(점선)과 비교하여 보면 Co의 두께 30 Å에서 Co의 두께 진동폭이 3.5 Å (Co 두께에 대하여 11.6%), 계면두께진동폭이 이상적 계면구조에 의한 계면 두께진동[13] 정도인 0.418 Å였다. Co 두께 20 Å에서는 층의 두께 진동은 2.5 Å (12.5%)으로 증가되었으며 계면 두께진동은 0.6 Å으로 증가하였다. 즉 Co 두께 15 Å 이상에서는 회절상 분석결과 변조피이크들이 두께진동에 의해 중첩된 넓은 피이크 양상을 보여주는 다층막 형태를 이루고 있다. 그러나 Co의 두께가 15 Å 및 10 Å으로 얇아질 때 Co의 두께 진동폭이 10% 정도로 같으나 계면 두께진동은 0.9 Å으로 매우 커졌음을 알 수 있다. 또한 계산에 의

한 회절상의 FWHM과 실측치와 큰 차이를 보여주고 있다. Co의 두께가 더욱 얇아져 약 5 Å 정도에서는 다층박막의 변조피이크는 보이지 않고 실측 회절 피이크의 위치는 순수한 Ag(111) 피이크와 일치한다. 따라서 Co의 두께가 얇은 경우 (< 15 Å)에는 두께의 반복진동이 Co층의 두께에 비해 너무 커서 다층박막 모델식을 적용하기가 힘들다. 이는 Co 두께 15 Å 이하의 두께에서는 Co의 덩어리화에 의해 불연속다층막이 형성되었음을 시사한다.

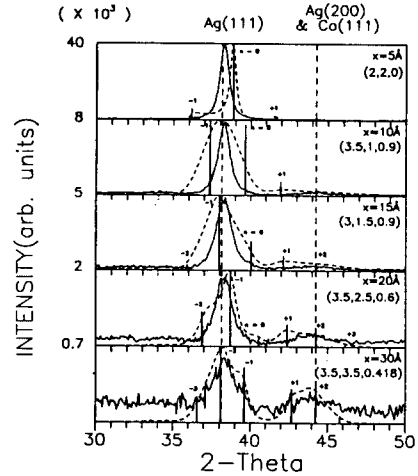


Fig 1. X-ray diffraction patterns of Ag30 Å / Cox Å multilayers, measured (broad real curve), calculated by ideal superlattice model (vertical line), and by refined superlattice model (dotted curve). Vertical dotted lines represent the standard diffraction peak positions of Ag(111), Ag(200), and Co(111). The numbers, 0, 1, 2, 3 are denoted the orders of satellite peaks in the ideal superlattice. Fitting parameters in the parenthesis are represented the thickness fluctuations of Ag and Co layer and the thickness fluctuation of interfaces in order.

Ag와 Co는 15%의 큰 격자불일치, 51%의 전기음성도의 차를 갖고 있어 거의 상호고용도가 없으며 Co의 표면에너지가 Ag에 비하여 100% 정도 크다. 전체 계의 표면 에너지를 줄이기 위하여 Co가 덩어리(island)화 되기가 쉽고 특히 Ag와 Co의 두께가 얇을수록 균일한 다층박막이 이루어지기가 어렵다.

Fig. 2a)는 Ag의 두께를 30 및 60 Å으로 고정시키고 Co의 두께를 변화시켰을 때 외부자기 10 kOe에서 자화값이며 2b)는 Ag의 두께가 30 Å일 때 Co 두께에 따르는 자화값, 보자력 및 포화자기장의 변화를 보여준다. fcc

구조를 갖는 순수한 Co의 포화자화값인 175 emu/g 보다 작은 값을 보여주고 있다. 특히 Ag 30 Å에서는 더 작은 자화값을 보이며 Co 10 Å 이하에서 급격한 감소를 보인다. Fig. 2b)에서 보는 바와 같이 Co 두께 10 Å 이하에서 보자력은 매우 작고 포화자기장은 증가하며 자화값은 감소한다. 따라서 Ag 및 Co의 두께가 얇은 경우에는 Ag 층에 의해 단절된 Co가 덩어리화 되어 불연속 다층박막 형태를 이루고 Co 덩어리간의 교환결합이 미약하여 초상자성 특성을 나타내는 것으로 보인다.

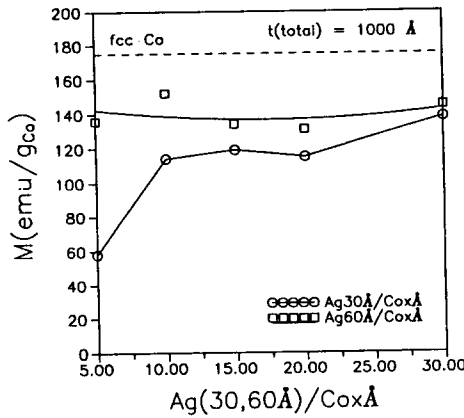


Fig 2. a) Magnetizations as a function of Co thickness in Ag30 and 60 Å multilayers. Total thickness is 1000 Å and an applied field is 10 kOe.

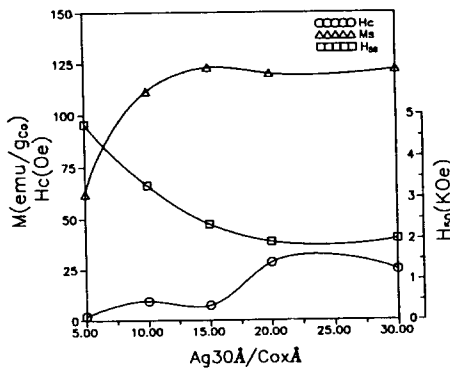


Fig 2. b) Magnetizations, H_c , and H_s of Ag30 Å / Cox Å multilayers of 3000 Å thickness.

Fig. 3은 Ag 30 및 60 Å, Co 5 및 20 Å인 다층박막의 자기이력곡선을 비교하여 보여준다. Co의 두께가 5 Å일 때는 30 및 60 Å Ag의 두께에서 모두 잔류자화가 거의 0

인 이력이 없는 자화거동을 보여주고 있다. 일반적으로 강자성체에서 잔류자화가 0, 즉 이력이 없는 자화거동을 보이는 경우는 강한 자기이방성을 갖는 경우이나 이 다층박막에는 해당되지 않는다. Ag/Co 다층박막에서는 자성층간에 강한 반강자성 교환결합을 하거나 또는 미세한 강자성체 입자가 초상자성 거동을 하는 경우에 잔류자화가 0이 될 수 있다. Co의 두께가 5 Å으로 같고 Ag층의 두께가 30 Å 및 60 Å인 다층박막의 10 kOe에서 자화값을 비교하면 각각 58 및 136 emu/g 으로 큰 차이를 보이나 Ag층의 두께가 60 Å이고 Co층의 두께가 5 Å 및 20 Å인 다층박막의 자화값은 같다. 이는 Ag60 Å / Co5 Å 다층박막은 자성층간의 반강자성 교환결합에 의해 잔류자화가 0을 보이는 반면 Ag30 Å / Co5 Å는 덩어리화된 미세한 Co에 의한 전형적인 초상자성 특성을 보여 잔류자화가 0에 가까운 값을 갖으며 상온과 10 kOe의 조건에서 포화되지 못하여 자화값이 작게 나타나는 것이다. 즉 구조분석과 자성특성에서 분석한 바와 같이 Ag층의 두께가 60 Å 정도로 비교적 두꺼울 때는 Co 두께가 5 Å에서도 비교적 균일한 다층박막의 형태를 이루어서 대부분의 Co층이 강자성의 성질을 가지나 Ag층의 두께가 30 Å으로 얇아지고 Co가 15 Å 이하일 경우에 Co층이 섬형화된 불연속 다층박막이 형성되어 섬형화된 많은 부분의 Co가 초상자성 성질을 갖게 됨을 알 수 있다.

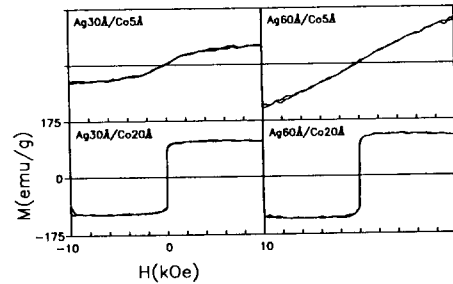


Fig 3. Hysteresis curves for a) Ag30 Å / Co5 Å b) Ag30 Å / Co20 Å c) Ag60 Å / Co5 Å and d) Ag60 Å / Co20 Å multilayers.

Fig. 4는 Co층의 두께를 10 Å으로 고정시키고 Ag층의 두께를 20-70 Å으로 변화시켰을 때의 자화값이다. Ag층의 두께가 증가함에 따라 자화값이 120 emu/g 에서 점차 증가하여 155 emu/g 으로 수렴한다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 Ag층의 두께가 증가하면 다층박막의 구조가 개선되고 계면에서의 진동변화(fluctuation)가 적어져 Co의 섬형화에 의한 초상자성 거동과 계면 섞임

에 의한 Co의 자기모멘트 감소가 줄어든 결과로 해석된다.

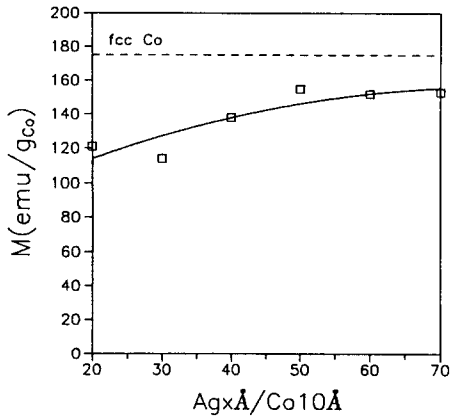


Fig 4. Magnetizations as a function of Ag thickness in Agx / Co10Å multilayers.

2. Ag/ Co 다층박막의 자기저항

Fig. 5는 전체두께 1000 Å에서 Ag층의 두께를 30 Å으로 고정시키고 Co의 두께를 변화시키면서 얻은 ρ_o , $\Delta\rho$, MR이다. ρ_o 는 Co층의 두께가 증가함에 따라 비저항이 15.47에서 39.24 $\mu\Omega\text{cm}$ 으로 증가하는데 이는 Co층의 두께가 감소함에 따라 계면수 증가에 의해 저항이 다소 증가하지만 전체적으로 비저항이 작은 Ag층(1.59 $\mu\Omega\text{cm}$)의 상대적인 두께가 증가함에 따라 비저항이 감소한다. $\Delta\rho$ 는 Co층의 두께 10 Å에서 최대치를 보이는데, 상기한 바와 같이 15 Å 이하에서는 Co층의 섬형화로 불연속 다층박막 형태로 존재하여 GMR은 미세입상합금박막과 유사한 거동을 갖으며 Co층의 두께가 10 Å 정도에서 스핀의존산란에 대한 최적의 입자 크기로 존재하기 때문으로 보인다. 15 Å 이상에서는 다층박막을 형성하지만 Co층이 두꺼워서 Fig. 3에서 보는 바와 같이 반강자성 결합이 약하여 MR이 감소하는 것으로 해석된다. 열처리를 하면 박막내의 결합의 감소로 ρ_o 는 감소한다. 300°C 10분 열처리를 하였을 때 Ag30 / Co10 Å일 경우 최대 MR값을 보이며 그 이상의 Co 두께에서는 큰 차이를 보이지 않는다. Ag-Co 미세입상합금박막의 최대 MR값이 19% [14]인 데 반하여 Ag30 / Co10 Å 불연속 다층박막은 2.46%로 매우 작다. 이것은 Co층의 두께가 10 Å이므로 열처리를 통해 자성층이 덩어리화 되었을 때 Co의 크기가 입상합금박막에 비해 먼 방향으로 커서 스핀의존산란이 감소하기 때문으로 보인다. 전체두께를 3000 Å으로

증가시켰을 때 Co 두께에 따른 ρ_o , $\Delta\rho$, MR은 비슷한 경향을 보이고 MR은 Ag30 / Co10 Å에서 최대 MR값인 6.1%를 얻었으며 이 때 나타난 자기적 성질 M_s , H_c , H_k 은 Fig. 2b)에서 언급하였다.

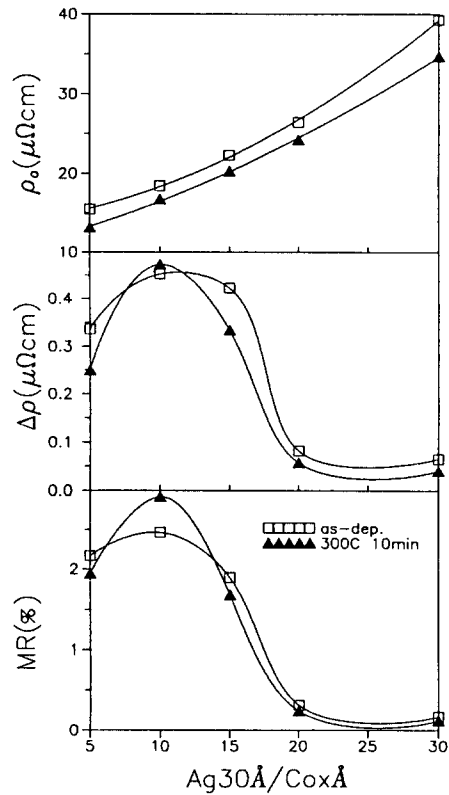


Fig 5. ρ_o , $\Delta\rho$, and MR variations of as-deposited and aged Ag30 Å / Cox multilayers. Aged at 300°C for 10 min.

Ag/ Co 다층박막의 하지층 효과

Fig. 6은 1000 Å 및 3000 Å 두께의 Ag30 Å / Co10 Å 다층박막에 SiO 하지층 두께에 따른 ρ_o , $\Delta\rho$, MR의 변화양상이다. 전체두께가 1000 Å 일 때의 ρ_o 가 3000 Å 일 때 보다 크다. 이는 박막두께에 따른 size 효과와 다층박막의 층상구조의 결합이 3000 Å보다 많기 때문으로 보인다. 전체두께 1000 Å 다층박막에는 SiO 하지층에 의한 $\Delta\rho$ 의 뚜렷한 증가를 볼 수 있고 그에 따라 MR은 약 2.5에서 6%로 증가되었다. 그러나 전체 두께가 3000 Å인 경우에는 하지층에 따른 ρ_o , $\Delta\rho$, MR의 뚜렷한 변화가 없었다. 이는 다층박막의 두께가 얇을 경우 상대적

으로 하지층에 의한 다층박막 구조의 개선이 좋음을 말해 준다. 즉 하지층에 의해 계면 거칠기 감소로 반강자성 결합이 증가되어 스핀의존산란에 의한 $\Delta\rho$ 가 증가되는 것으로 보인다.

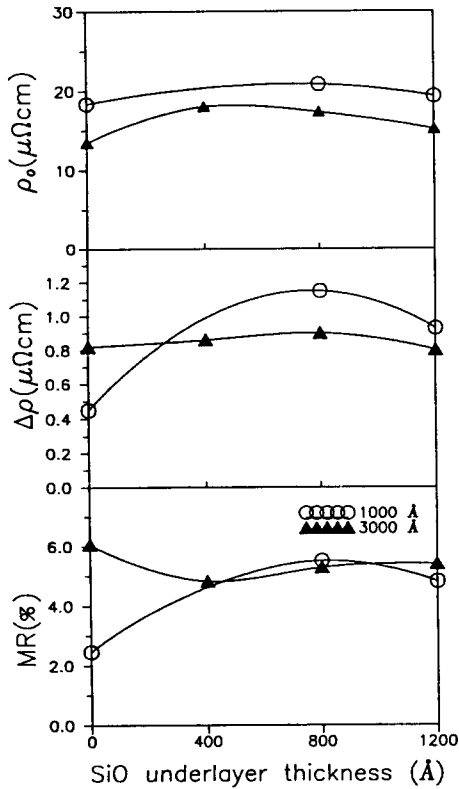


Fig 6. ρ_0 , $\Delta\rho$, and MR variations of 1000 and 3000 Å thick $\text{Ag}_{30}\text{Å}/\text{Co}_{10}\text{Å}$ multilayers as function of SiO underlayer thickness.

그러나 하지층의 두께가 800 Å 이상에서 $\Delta\rho$ 가 다소 감소한다. 이러한 현상은 Cu/Co 또는 Cu/FeNi 다층박막에서 Fe 하지층의 두께의 효과에서도 공통적으로 나타나는 현상으로서 [15] 하지층이 약 50 Å 까지는 MR이 증가하고 그 이상의 두께에서는 다시 감소한다. Fe 50 Å 까지는 다층박막의 층상구조가 개선되고 우선방위가 (111)에서 (200)으로 바뀌나 그 이상의 두께에서는 하지층의 입자크기의 증가로 층상구조가 다시 나빠지며 약 100 Å 이상에서는 우선방위도 다시 (111)로 변화되어 MR이 감소되는 것으로 보고되고 있다. 본 연구에서는 우선방위의 변화는 없으며 SiO층의 두께에 따르는 조직

의 변화에 대한 직접적인 증거는 없으나 SiO 하지층의 임계두께 이상에서 계면거칠기가 다시 증가하여 반강자성 결합의 감소로 $\Delta\rho$ 가 감소되는 것으로 추측된다.

Fig. 7은 전체두께 1000 및 3000 Å의 $\text{Ag}_{30}\text{Å}/\text{Co}_{10}\text{Å}$ 다층박막에서 하지층이 없을 때와 800 Å을 깔았을 때 자기이력곡선의 변화양상이다. 포화자화값은 하지층을 피복함에 따라 106에서 147 emu/g으로 증가되었으며 잔류자화는 대폭 감소되었다. 이는 상기한 바와 같이 하지층에 의해 계면거칠기가 줄어들고 층상구조가 개선되어 자화값이 증가되었고 층상간의 반강자성 결합의 증가로 잔류자화는 감소된 것이다.

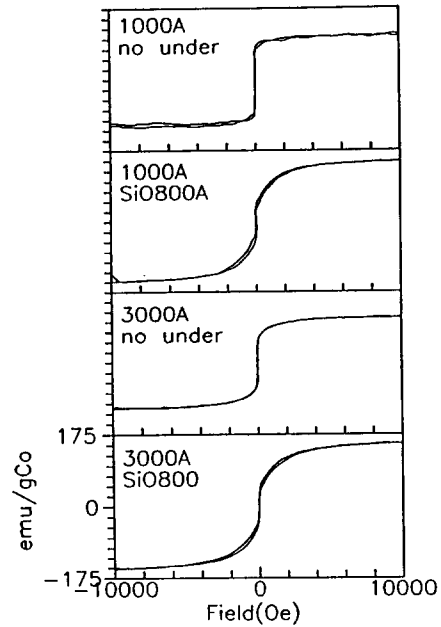


Fig 7. Hysteresis curves of $\text{Ag}_{30}\text{Å}/\text{Co}_{10}\text{Å}$ multilayers without and with SiO 800 Å underlayer.

IV. 결 론

1. 동시열진공증착 방법으로 제작한 Ag/Co 다층박막에서 Ag층의 두께가 60 Å 정도로 비교적 두꺼울 때에는 Co두께가 5 Å에서도 비교적 균일한 다층막의 형태를 이루어서 대부분의 Co층이 강자성의 성질을 가지나 Ag층의 두께가 30 Å으로 얇고 Co가 15 Å 이하일 경우에 Co층이 섬형화된 불연속 다층박막이 형성되어 섬형화된 많은 부분의 Co가 초상자성 성질을 갖는다.
2. 각층의 두께가 임계크기보다 얇아서 다층막이 불안정

할 경우 열처리를 행할 때 자성층의 불연속화와 덩어리화가 용이하며 미세입상합금박막에서와 같이 초상자성 특성을 갖는 덩어리화 된 강자성 입자에 의하여 거대자기저항 현상을 보였다.

3. Ag₃₀/Co₁₀ Å 다층막에서 SiO 및 Ag 하지층에 의해 공히 다층막구조가 개선되고 반강자성 결합이 증가되며, 거대자기저항값은 SiO 하지층 800 Å일 경우 46에서 5.51%로 증가되었다.

감사의 글

본 논문은 1993년도 학술진흥재단의 자유공모과제 연구비에 의하여 연구된 결과의 일부이며 연구비 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] M. N. Baibich, J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Eitenne, G. Creuzet, A. Friederich and J. Chazelas, *Phys. Rev. Lett.*, **61**, 2472(1988).
- [2] S. S. P. Parkin, R. Bhadra and K. P. Roche, *Phys. Rev. Lett.*, **66**, 2151(1991).
- [3] S. Araki and Y. Narumiya, *J. of Magn. Mag. Mat.*, **126**, 521(1993).
- [4] B. Rodmacq, G. Palumbo and Ph. Gerard, *J. of Magn. Magn. Mater.*, **118**, L11(1993).
- [5] K. Inomato, Y. saito, and S. Hashimoto, *J. of Magn. Magn. Mater.*, **121**, 350(1993).
- [6] M. Jimbo, T. Kanda, S Goto, S. Tsunashima, and S. Uchiyama, *J. of Magn. Magn. Mater.*, **126**, 422(1993).
- [7] T. Shinjo and H. Yamamoto, *Jpn. J. Phys. Soc.*, **59**, 3061(1990); H. Yamamoto, T. Okuyama, H. Dohnomae and T. Shinjo, *J. Magnetism and Magn. Materials*, **99**, 243(1991); T. Shinjo, H. Yamamoto, T. Anno and T. Okuyama, *Appl. Surface Sci.*, **60/61**, 798(1992); H. Yamamoto, Y. Motomura T. Anno and T. Shinjo, *J. Magnetism and Magn. Materials*, **126**, 437(1993); A. Chaiken, P. Lubitz, J. J. Krebs, G. A. Prinz and M. Z. Harford, *Appl. Phys. Lett.*, **59**, 240(1991); A. Chaiken, P. Lubitz, J. J. Krebs, G. A. Prinz and M. Z. Harford, *J. Appl. Phys.*, **70**, 586(1991); H. Sakakima and M. Satomi, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **31**, L484(1992); M. Satomi and H. Sakakima, *J. Magnetism and Magn. Materials*, **126**, 504(1993).
- [8] B. Dieny, V. S. Speriosu, S. S. P. Parkin, B. A. Gurney, D. R. Wilhoit and D. Mauri, *Phys. Rev.*, **B43**, 1297(1991); B. Dieny, V. S. Speriosu, S. Metin, S. S. P. Parkin, B. A. Gurney, P. Baumgart and D. R. Wilhoit, *J. Appl. Phys.*, **69**, 4774(1991); B. Dieny, V. S. Speriosu, S. S. P. Parkin, B. A. Gurney, D. R. Wilhoit, K. P. Roche, S. Metin, D. T. Peterson and S. Nadimi, *J. Magnetism and Magn. Materials*, **93**, 101(1991); B. Dieny, *Appl. Phys. Lett.*, **61**, 2111(1992); B. Dieny, P. Humbert, V. S. Speriosu, S. Metin, B. A. Gurney, P. Baumgart and H. Lefakis, *Phys. Rev.*, **B45**, 806(1992); K. Hoshino, S. Noguchi, R. Nakatani, H. Hoshiya and Y. Sugita, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **33**, 1327(1994).
- [9] J. Q. Xiao, J. S. Jiang, and C. L. Chien, *Phys. Rev. Lett.*, **68**, 3749(1992); 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).
- [10] 이성래, *한국자기학회*, **5**(3), 222(1995).
- [11] M. A. Parker, T. L. Hylton, K. R. Coffey, and J. K. Howard, *J. Appl. Phys.*, **75**, 6382(1994).
- [12] J. -P. Locquet and I. K. Shuller *Phys. Rev. B.*, **39**(18), 1338(1989).
- [13] 이용규, *고려대학교 석사학위 논문*(1994).
- [14] 이수열, 이성래, *한국자기학회지*, **5**(1), 48(1995).
- [15] W. F. Egelhoff, Jr. and M. T. Kief, *Phys. Rev.*, **45**, 7795(1992).

A Study on the Structural and Magnetoresistance Properties of Co / Ag Multilayers

Yongkyu Lee and Seong Rae Lee

Department of Metallurgical Engineering, Korea University, Seoul 136-701

(Received 12 January 1996, in final form 3 May 1996)

The structural, magnetic and magnetoresistance properties of Co / Ag multilayer films prepared by thermal co-evaporation were studied. When the Ag layer was 60 Å thick, the Co layer behaved ferromagnetically even with the thickness of 5 Å. However, when the thickness of Ag layer was 30 Å and that of Co layer was less than 15 Å thick, the Co layer became discontinuous and the islands of Co behaved mostly superparamagnetically. The maximum MR ratio, 6.1% was obtained in the 3000 Å Ag / 30 Å / Co 10 Å discontinuous multilayer. Agglomeration of the Co layer was promoted by annealing and hence MR ratio increased when the thickness of Ag layer was thinner than 15 Å. The SiO underlayer enhanced the MR ratio in the 1000 Å thick multilayer via the layer structure improvement.