

Ar 및 Ar/H₂ 분위기에서 스퍼터 증착한 NiFe/Ag 다층박막의 구조, 자기 및 자기저항 거동에 관한 연구

서유석 · 이성래

고려대학교 재료금속공학부

(1999년 3월 31일 받음, 1999년 5월 20일 최종수정본 받음)

Ar 및 Ar/H₂ 분위기에서 마그네트론 스퍼터로 제조한 NiFe/Ag 다층박막의 구조, 자기 및 자기저항 거동에 관하여 연구하였다. Ar 분위기에서 제조한 시편은 균일한 다층박막 구조 형성이 어려우며 따라서 열처리 전후의 자기저항의 변화가 없었다. Ar/H₂ 분위기 하에서 제조한 경우 균일한 다층박막이 이루어졌으며 이는 스퍼터 원자의 에너지 감소 및 박막내의 Ar 함량의 감소에 의한 표면 평활도의 개선에 기인되는 것으로 사료된다. 균일한 다층구조가 이루어진 경우 열처리에 의하여 불연속 다층박막구조에 의한 자기저항 거동을 보인다. 그러나 증착된 상태에서 균일한 다층구조를 이루지 못할 경우, 미세입상합금박막의 자기저항 거동을 보이며 열처리 전후의 차이가 나타나지 않는다. 기판 온도는 다층구조 개선에 효과가 없었으며 200 °C 이상의 온도에서는 미세입상합금박막 구조를 이루었다.

I. 서 론

단자구입자의 스핀회전에 의한 자화 반전기구를 통해서 일어나는 미세입상 합금박막은 제조공정이 용이한 장점이 있으나 자성체의 결정자기이방성, 형상자기이방성, 입자 크기에 따르는 초상자성 거동 등의 이유로 매우 큰 포화 자장이 나타나는 단점이 있다. 이러한 미세입상합금박막 계의 포화자기장을 낮추기 위한 방법으로 강자성체의 연결화[1, 2], 열처리, 연자성층의 교환결합을 이용한 삼층막 [3] 등의 시도가 있었으나 본질적으로 강자성체의 스핀회전에 의한 자화반전 기구가 유지되는 한 포화자기장의 감소에는 한계가 있다. 자성체로 포화자기장이 작은 NiFe를 이용하여 다층박막을 제조하여 열처리를 통해 자성층을 불연속화 시킨 NiFe/Ag 불연속다층박막은 자기저항민감도(MR%/Oe)에 있어서 스핀밸브 GMR과 대등하거나 우수한 특성을 보임으로서 이에 대한 연구가 많은 관점에서 이루어지고 있다[4-10]. 다층막을 제조한 후 적절한 온도에서 열처리하면 Ag가 우선적으로 NiFe의 입체로 확산하여 NiFe층이 단절된 불연속다층박막 구조가 된다[5, 11]. 자성층을 불연속화 시키므로 자성체의 모양이 박막면 방향으로의 이방성이 작고 형상비가 큰 판상(pancake) 형태가 된다. 또한 단절된 자성입자에서 누설된 자기장에 의한 약한 정자기 결합(magnetostatic coupling)으로 자성층간에 반강자성 배열을 이룬다. 이에 따라 매우 낮은 포화자기장과 큰 자기저항 민감도를 갖게 되는 것으로 알려져 있다[4, 8, 12].

최적의 자기저항 특성을 나타내는 불연속다층박막은 증착된 상태에서의 다층박막의 구조 상태에 따라 크게 영향을 받는다. 본 연구에서는 Ar 및 Ar/H₂ 분위기에서 제작한 NiFe/Ag 다층박막 구조와 열처리후 자기저항 거동과의 관계를 분석하였다.

II. 실험방법

2.1 시편 제작

NiFe/Ag 다층박막은 4-target RF 및 DC 마그네트론 스퍼터 장치를 사용하여 제작하였다. 증착 전 진공도는 9.0×10^{-7} Torr 이하가 되도록 하였다. 스퍼터링 가스로는 순도 99.999 %의 Ar과 순도 99.9 %의 H₂를 사용하였다. 스퍼터링시 Ar의 분압은 2 mTorr로 고정하였다. 또한 스퍼터링 가스의 주입량 전체는 12 sccm이 되도록 유지하였고, Ar과 H₂의 혼합가스를 사용한 경우에는 각각 6 sccm 씩 주입하였다. 증착시 약 150 Oe의 자기장을 박막면에 평행하게 가하였다.

투입전력은 NiFe의 경우 RF power 100 W, Ag의 경우 DC power 20~30 W를 인가하여 증착속도는 각각 1.1 Å/sec과 2.5~3.5 Å/sec 이었다. NiFe/Ag다층박막은 $[Ag(y\text{Å})/NiFe(x\text{Å})]_n Ag(y\text{Å})$ ($x = 20\text{--}30 \text{ Å}$, $y = 10\text{--}120 \text{ Å}$)의 구조로 형성하였고, 상하지층으로 Ta을 각각 100~500 Å 증착하였다. 기판은 Si(100)을 사용하였다. 열처리는 Ar/H₂ 분위기하에서 250~400 °C 범위의 각 온도에서 10분 간격으로 시간을 증가시키면서 행하였다.

2.2 구조 분석

X선 회절(Rigaku model RTP 300 RC)은 30°에서 50°까지 2°/min속도로 주사하였으며 Cu K α ($\lambda = 1.542 \text{ \AA}$) X선과 Ni를 filter로 사용했다. 전력은 40 kV, 80 mA 사용하였다.

다층박막의 각 층들의 두께 및 계면 두께의 변화가 가우시안 분포로 된다고 가정하여[13, 14] 계산된 XRD와 실측 XRD를 비교하여 증착된 상태 및 열처리 후의 다층박막의 구조를 분석하였다.

2.3 자기적 성질 측정

포화자화(M_s), 보자력(H_c) 및 자기이력곡선 측정은 진동 시편자력계(Vibrating Sample Magnetometer, 미국 DMS 사 model 880)를 이용하여 $\pm 100 \text{ Oe}$ 까지 박막면에 평행하게 자장을 가하면서 상온에서 측정하였다.

자기저항측정장치는 약 $\pm 100 \text{ Oe}$ 자기장 하에서 표준 4탐침법으로 측정하였다. 모든 측정장비는 IEEE 488 interface를 이용하여 IBM PC에 연결하여 데이터를 수집 및 제어하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1 Ar 분위기 하에서 제작한 다층박막의 구조 및 자기저항 거동

Fig. 1은 Ar 분위기 하에서 제작한 Ag50 \AA /NiFe25 \AA 다층박막에서 Ta 하지층 유무에 따르는 X선 회절상을 보여준다 날카로운 피이크는 계산된 이상적인 초격자 구조를 갖는 경우로서 주 변조($n = 0$) 및 위성 피이크의 차수($n = 1, 2 \dots$)를 나타낸 것이다. Ta 하지층이 있는 경우 회절 피이크 강도가 증가하고 차수가 -2인 위성 피이크가 더 발달되어 있지만 두 경우 모두 위성 피이크가 충분히 발달되어 있지 않으며 피이크 위치에도 차이가 있는 것으로 보아 균일한 다층박막 형성이 되어 있지 못함을 보여준다. Fig. 2는 [Ag50 \AA /NiFe25 \AA]10에서 Ta 하지층 유무와 열처리 온도에 따른 비저항, 비저항차, 자기저항비의 변화를 보여준다. 두 경우 모두 열처리하면 박막 내의 결합이 감소됨으로 인해 비저항이 감소된다. 하지층이 없는 경우 비저항이 더 큰 것은 다층박막내의 결합 농도가 더 높다고 볼 수 있다. 즉 층상구조가 균질하게 형성되지 않았기 때문에 열처리하면 더 빨리 구조가 열화된다. 따라서 자기저항이 크게 변화되지 못하고 있으며 미세입상합금박막과 유사한 거동을 한다. Ta 하지층이 있는 경우 열

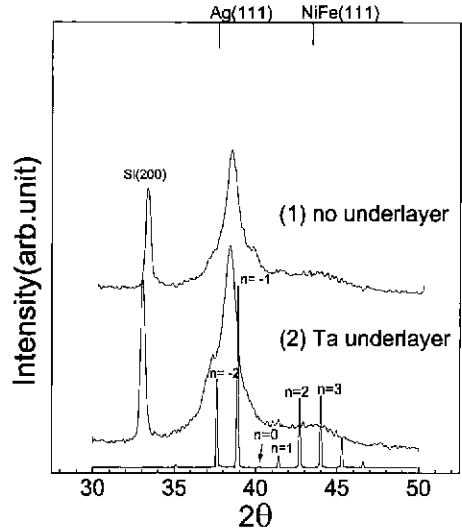


Fig. 1. XRD patterns of NiFe25 \AA /Ag50 \AA multilayers deposited under Ar atmosphere. with and without Ta underlayer. Sharp peaks are calculated based on the ideal superlattice structure.

처리 온도에 따르는 자기저항비의 변화가 Ta 하지층이 없는 경우보다는 다층박막 구조가 조금 더 균일하게 형성되어 열처리시 구조 열화가 조금 더 더디게 일어난다. Ag와

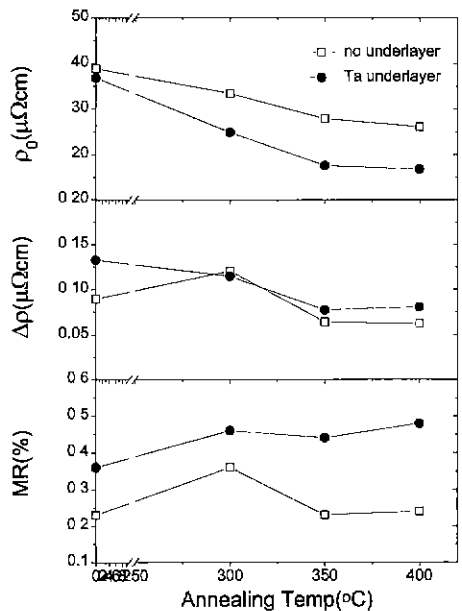


Fig. 2. ρ , $\Delta\rho$ and MR ratio variation as a function of annealing temperature of NiFe25 \AA /Ag50 \AA multilayers with and without underlayer deposited in Ar atmosphere.

NiFe는 12.5 %의 격자 불일치. 표면에너지 차이가 1,000 ergs/cm²로 매우 커서 박막형성시 표면에너지를 줄이기 위하여 덩어리화 되기 쉽고 균일한 다층박막 형성이 어렵다. 따라서 Ar분위기에서 제작한 시편은 Ta 하지층이 다층박막의 구조에 미치는 효과는 미미하고 Ta 하지층 유무에 관계없이 균질한 다층구조가 형성되지 못함으로서 열처리 후 자기저항 거동에는 큰 변화가 없다.

3.2 Ar/H₂ 분위기에서 제작한 다층박막의 구조 및 자기저항 거동

Fig. 3은 박막 증착시 수소를 첨가한 경우와 첨가하지 않은 경우의 X선 회절상을 비교한 것이다. 수소를 첨가하여 제작한 시편의 X선 회절상은 전반적으로 위상 피이크들이 잘 발달하여 수소를 첨가하지 않은 경우보다 균일한 다층박막이 이루어 졌음을 알 수 있다. 위상 피이크로부터 계산된 주기, 즉 두 층의 두께는 설계된 두께와 실제 측정된 주기와 10 % 이내에서 잘 일치하고 있다[15]. 이론적 초격자 구조에서 다층박막의 결합 중 각 층의 두께 및 계면 두께의 진동(fluctuation)이 가우시안 분포한다고 가정된 모델로[13, 14] 계산된 회절상과 실제 회절상을 비교 분석한 결과 각 층의 두께 진동(fluctuation)은 각각 약 8 %의 두께 변화가 있으며 계면에서는 약 0.4 Å의 진동이 있는 것으로 분석되었다[15]. 또한 다층박막의 주기가

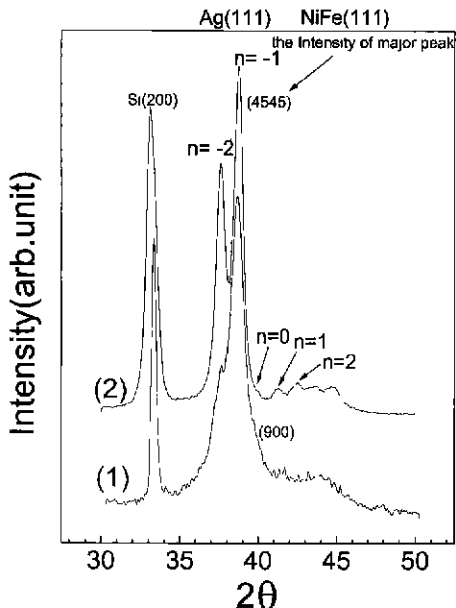


Fig. 3. Comparisons of XRD patterns of NiFe25Å/Ag50Å multilayer deposited under 1) Ar and 2) Ar/H₂ atmosphere.

증가하면서 다층박막의 구조가 개선되는 것으로 분석되었다. 이차 이온 질량분석기(SIMS)를 이용하여 수소를 첨가하지 않은 경우와 첨가하여 제작한 박막의 표면을 구성하고 있는 원소 및 분자의 종류 및 양을 분석해 보았다. 두 경우 수소가 미량으로 비슷하게 검출되었으나, 아르곤 분위기하에서 증착한 박막에서는 아르곤이 상당량 더 검출되었다[15]. 따라서 수소 첨가에 의하여 개선된 다층박막 구조를 얻을 수 있었던 원인은 이온화 된 가스의 에너지 감소에 의한 스퍼터 원자의 에너지 감소 및 성장하는 박막내의 아르곤 가스 개입 감소에 의한 adatom의 표면 이동도 증가로 좀더 균질한 다층박막을 얻을 수 있었던 것으로 보인다.

Fig. 4는 NiFe/Ag 다층박막에서의 전형적인 연자성 특성을 보여주는 이력곡선을 나타낸다. 보자력이 0.43 Oe로 매우 작으며 포화자기장도 10 Oe내외로 매우 작다. 박막의 보자력은 표면 조도, 교환 stiffness 상수, 자기 이방성이 클수록 증가하고, 포화자화와 박막 두께가 클수록 감소한다[16, 17]. 특히 박막의 두께가 얇을수록 표면 불균일성의 영향이 상대적으로 커진다. 자성 / 비자성 또는 자성 / 자성층으로 2중이나 다층화하면 자성층의 입자의 성장을 효과적으로 억제시켜 초미세결정립으로 제어가 가능하며 따라서 보자력을 효과적으로 감소시킬 수 있음은 이미 오래 전에 알려진 사실이다[18]. 2차원의 층상구조와 사이층(spacer layer)으로 인하여 자성층의 결정 입자 성장이 억제되며 nano 크기로 제어하기가 용이하여 우수한 연자성 특성을 갖는다. 일반적으로 입자의 크기가 작아지면 1/D (입자크기)의 관계로 보자력이 증가하는 것으로 알려져 있다. 그러나 입자의 크기가 자구벽의 크기이하 또는 강자성 교환결합 길이 $-\delta = (A/K_1)^{1/2}$ 여기서 A는 exchange

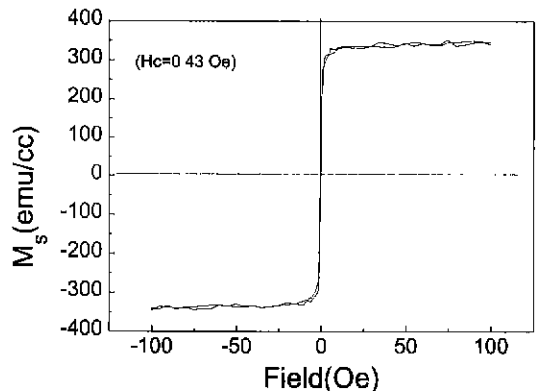


Fig. 4. Hysteresis curve of as-deposited NiFe30Å/Ag70Å deposited in Ar/H₂ atmosphere.

stiffness constant 그리고 KI은 결정자기이방성 상수 - 보다 작아지면 입자들의 등방성 배열로 결정자기이방성의 효과가 서로 상쇄되고 자왜가 극히 작거나 0이 되어 D^6 관계로 보자력은 감소한다[18].

증착된 상태에서의 포화자화값이 fcc NiFe의 포화자화 값보다 작은 이유는 계면에서의 상호 섞임에 의한 자기모멘트의 희석, NiFe의 산화뿐만 아니라 NiFe/Ag계의 경우 높은 격자 불일치, 표면에너지 차이가 크므로 계면의 거칠기가 상당량 존재하기 때문이다. 재료의 표면에너지는 한 재료가 다른 재료에 증착될 때 균일한 적층면을 이루는데 중요하다. 작은 표면에너지를 갖는 재료가 큰 표면에너지를 갖는 재료에 적층될 때 균일한 증착이 이루어지지만, 큰 표면에너지를 갖는 재료가 작은 표면에너지를 갖는 재료에 적층될 때는 균일한 적층면을 이루기 어렵고 덩어리화 된다. NiFe에 대해 Ag는 표면에너지가 2배 이상 클 뿐 아니라 큰 격자불일치도와 상호 고용도가 없으므로 각 층의 두께가 얇아질수록 다층막의 수직적 두께 균질성 및 밀착성이 나빠지게 된다. 따라서 일부 덩어리화 된 NiFe의 경우에는 초상자성 특성을 나타낼 수 있다. 또한 Ag/Ni 다층박막에서 계면 부위에서 Ag의 4d 전자가 Ni의 3d band로의 charge transfer로 인하여 계면 Ni 층의 자기모멘트가 상당히 감소된다고 보고된 바 있으며 그에 따라 Ag/NiFe에서 NiFe의 자기모멘트의 감소도 예측할 수 있다[19].

Fig. 5는 증착시 수소를 첨가한 경우와 첨가하지 않은 경우의 열처리 온도에 따른 비저항, 비저항차, 자기저항값의 변화 양상을 비교한 그래프이다. 수소를 첨가하지 않은 경우 다층박막의 결합 - 각 층 및 계면 두께의 진동, 계면 섞임, Ar 함량 등 - 이 상대적으로 수소를 첨가하여 제작한 다층박막보다 많이 존재하므로 큰 비저항값을 갖는다. 열처리 온도가 증가함에 따라 결합이 많은 Ar 분위기에서 제작한 박막의 비저항 감소가 더 크게 나타나고 있으나 수소를 첨가하여 제작한 다층박막에서는 비저항의 변화가 거의 없었다. 이는 박막내의 결합의 농도가 상대적으로 낮음을 말해준다. 수소를 첨가하지 않은 경우 증착상태에서 $\Delta\rho$ 가 상대적으로 크고 열처리 온도가 증가함에 따라 감소한다. 이는 다층구조가 불완전하여 미세입상 합금 박막과 유사한 거동을 함으로서 증착 상태에서 거대자기저항이 상대적으로 크게 나타난다. 열처리 온도가 증가함에 따라 비저항차가 감소하고 있다. 이는 미세입상합금박막에서와 유사하게 강자성 입자의 성장에 의하여 스핀의 존산란이 일어나는 계면적의 감소에 기인된다. 그러나 수

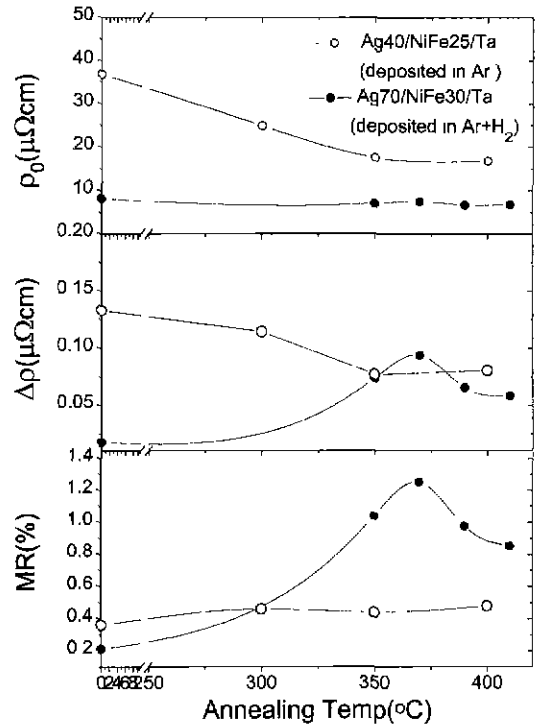


Fig. 5. ρ , $\Delta\rho$ and MR ratio variation as a function of annealing temperature of the multilayers deposited in Ar and Ar/H₂ atmosphere.

소를 첨가한 경우 안정된 다층막 구조를 이룸으로서 증착된 상태에서는 비저항차가 매우 작은 값을 보인다. 열처리 온도가 증가함에 따라 비저항차 및 MR 비는 증가하여 약 370 °C에서 최대치를 보인 후 감소한다. NiFe/Ag 다층박막에서 열처리 시 거대자기저항이 나타나는 기구는 불연속화된 NiFe의 약한 정자기 결합에 의한 반강자성 배열에 기인하는 것으로 알려져 있다.

Fig. 6은 NiFe의 두께를 30 Å으로 고정된 다층박막에서 Ag의 두께 변화 및 열처리 온도에 따른 비저항차, $\Delta\rho$, 즉 스핀 의존 산란에 의한 저항 변화를 보여준다. 증착된 상태에서 Ag 두께에 따라 비저항차가 미약하게 진동하고 있으며 그 진동 주기는 약 30 Å 정도이다. 열처리 하면 $\Delta\rho$ 는 크게 증가하나 Ag의 두께에 따르는 진동 양상은 유지되고 있다. 열처리 온도가 390 °C에서는 350 °C에서 보다 $\Delta\rho$ 의 크기가 감소한다. 열처리 온도가 증가함에 따라 불연속화된 자성체 입자의 성장, 자성체 층간의 연결 등으로 정자기 결합에 의한 반강자성 배열에 최적의 구조가 열화되기 때문이라 생각할 수 있다. 자기저항비 역시 $\Delta\rho$ 가 최대가 되는 위치에서 1~1.4 %를 보인다. 이 값

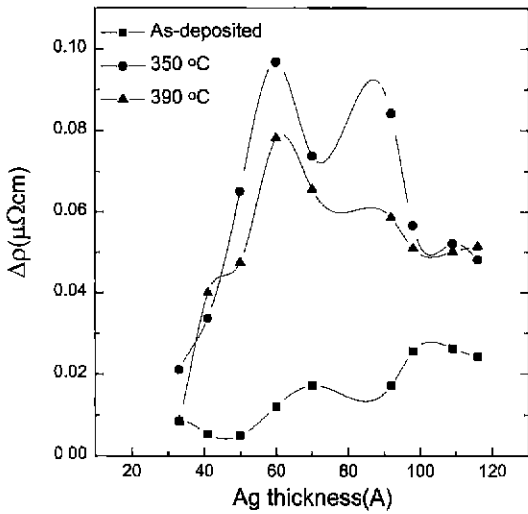


Fig. 6. variation of NiFe30Å/Ag deposited in Ar/H₂ as a function of Ag thickness and annealing temperature.

은 NiFe/Ag계에서 보고된 자기저항비 2~6 % 보다 작은 값이다.

Fig. 7은 열처리 온도에 따르는 XRD 피이크의 변화를 보여준다. 온도가 증가함에 따라 XRD 위성 피이크의 상대 강도는 감소하고 FWHM(Full Width at Half Maximum)

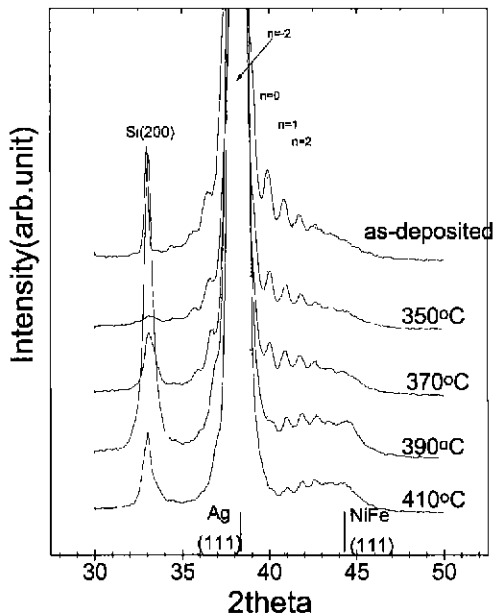


Fig. 7. XRD patterns of NiFe30Å/Ag70Å multilayers as a function of annealing temperature. Annealing time is 10 min..

은 증가하게 된다. 증착된 상태에서는 잘 발달된 위성 피이크들로 보아 균일한 초격자 구조를 이루고 있음을 알 수 있다. 열처리 온도가 증가함에 따라 잘 분리되어 있던 위성 피이크들이 점차 넓어지고 NiFe (111) 쪽으로 이동한다. 370 °C까지는 주 변조 피이크(n=0)가 발달되어 있으나 그 이상의 온도에서는 주 변조 피이크를 찾아 볼 수 없으며 NiFe(111) 위치에서 피이크가 발달되어 있다. 이것은 370 °C 이하의 온도에서는 다층구조가 유지되면서 불연속화가 되는 반면에 그 이상의 온도에서는 다층구조의 열화가 급격히 이루어져 NiFe층의 덩어리화가 촉진된 것으로 보인다.

Fig 8은 NiFe30Å/Ag70Å 다층박막의 열처리에 따른 자화곡선을 보여준다. 증착상태에서는 전형적인 연자성 특성을 보이고 있다. 증착상태의 시편은 자성층이 연속적이고 자성층 내에서 강자성 결합(ferromagnetic coupling)을 이루고 M_r/M_s 는 큰 값을 갖으나 거대자기저항 현상은 거의 나타나지 않는다. 열처리 온도가 증가함에 따라 각 형비가 감소하며 보자력이 증가한다, 잔류자화값이 감소하는 것은 NiFe층의 불연속화에 의하여 누설자기장에 의한 약한 정자기 결합이 이루어져 부분적인 반강자성 배열이 형성되었음을 시사한다. 열처리 온도가 더욱 증가함에 따라 자성체 입자들이 형상비가 감소하면서 보자력이 증

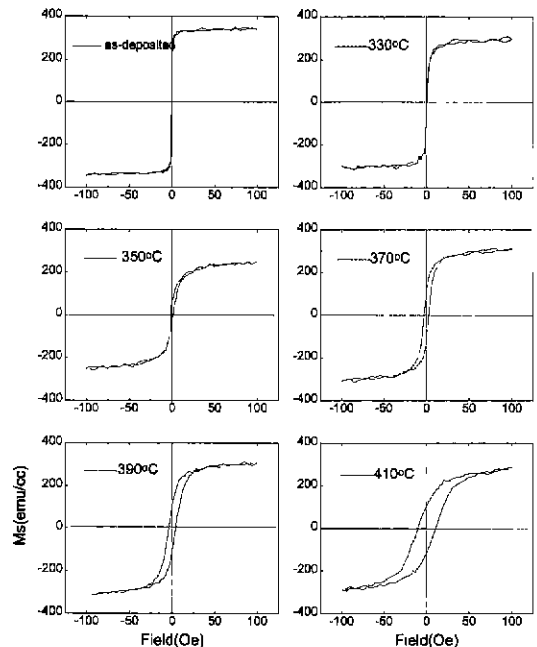


Fig. 8. Magnetization curves of NiFe30Å/Ag70Å as a function of annealing temperature.

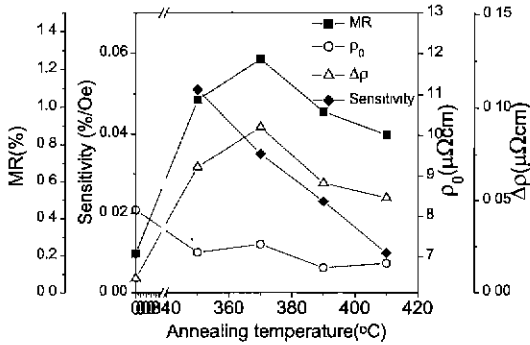


Fig. 9. ρ , $\Delta\rho$, field sensitivity and MR ratio variation of the NiFe30Å/Ag70Å multilayers as a function of annealing temperature.

가한다. 열처리 온도가 증가되면 형상비가 매우 큰 판상의 상태에서 형상비가 감소하여 구형의 형태로 변화한다. 즉 면내에서 이방성이 작은 형태(판상)에서 점차 면내 이방성이 증가하는 형태(구형)로 바뀌기 때문이다.

Fig. 9에서는 NiFe30Å/Ag70Å 다층박막의 열처리 온도에 따른 비저항, 비저항차, 자기저항비, 자기저항민감도 (MR %/Oe)의 변화를 나타낸다. 열처리를 함에 따라 비저항이 감소하고 370 °C 열처리 시 최적의 다층박막의 상태가 형성되어 최대 비저항차를 보였고, 이때 최대 자기저항값을 가졌다. Fig. 8에서 보았듯이 M_r/M_s 가 가장 작은, 즉 반강자성 배열이 가장 좋은 350 °C에서 열처리한 시편이 가장 큰 자기저항민감도(0.051 %/Oe)를 가졌으며 자기저항 민감도는 열처리 온도가 더욱 증가할수록 감소하는 경향을 보이고 있다. 열처리 온도가 증가하면 자성체 입자들이 성장하게 되어 보자력과 잔류자화량이 증가하게 되고 자기저항값 및 자기저항 민감도가 감소하게 된다.

Fig. 10은 기판온도 변화에 따라 각 시편의 열처리 전후의 비저항, 비저항차 및 자기저항의 변화를 나타내었다. 기판의 온도가 증가하면 증착된 상태의 비저항이 감소하며 이로부터 박막 내부의 결합이 감소됨을 알 수 있다. 또한 열처리를 하면 비저항이 더욱 감소하며 기판온도에 따르는 차이는 크게 없다. 비저항차 및 자기저항비는 기판온도가 증가함에 따라 증착상태에서는 증가하는 양상을 보인다. 기판온도가 증가되면 다층박막보다 합금박막 형태로 증착되어 미세입상 합금박막의 자기저항 거동을 보이게 된다. 자기저항비의 차이는 기판온도가 증가함에 따라 감소한다. 즉 상온에서 증착된 시편은 다층박막 구조를 이룸으로서 열처리 후 불연속다층박막에 의한 자기저항 거동을 보이지만, 기판온도가 올라갈수록 다층구조가 아닌

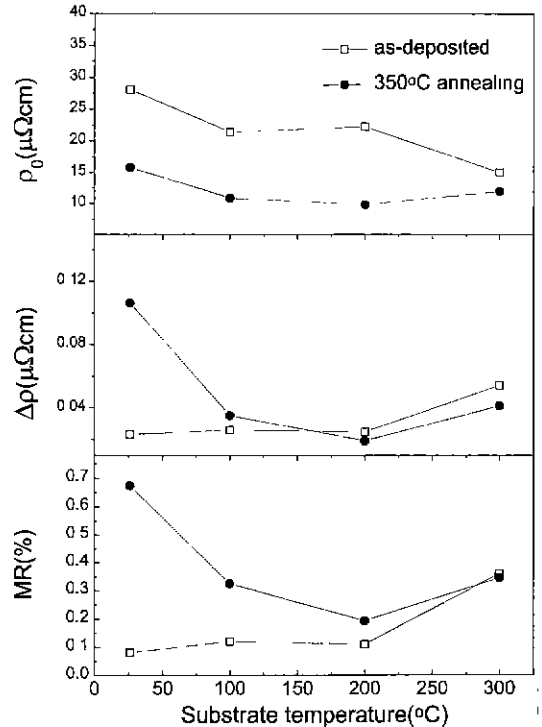


Fig. 10. ρ , $\Delta\rho$, field sensitivity and MR ratio variation of the NiFe30Å/Ag70Å multilayers as a function of substrate temperature

합금박막 형태를 이루므로 열처리 전후의 자기저항 거동에서 차이가 없다. XRD 분석 결과 기판온도 200 °C 부터는 위성피크가 전혀 보이지 않고 Ag(111) 및 NiFe(111) 피크가 발달되어 감을 볼 수 있었다[15].

IV. 결 론

Ar 및 Ar/H₂ 분위기 하에서 스퍼터 증착한 NiFe/Ag 다층박막의 구조, 자기 및 자기저항 거동을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Ar 분위기에서 제작한 경우 NiFe/Ag 다층박막은 두 재료간의 표면에너지 및 격자 상수의 큰 차이로 인하여 균질한 다층박막 형성이 용이하지 않으며 수소 첨가에 의하여 다층박막 구조가 개선된 이유는 adatom의 운동에너지 및 박막내의 Ar 함량의 감소에 의한 표면 평활도 증가에 기인되는 것으로 사료된다.
2. 증착된 상태에서 균일한 다층박막이 형성되지 않으면 열처리 전후의 자기저항거동에 차이가 크게 나타나지 않는다. 균일한 다층박막이 형성된 경우 열처리함에 따라

증착상태에서 강자성 결합을 이루고 있던 다층박막이 불연속화 되면서 반강자성 결합이 증가하여 최대 자기저항을 보이며 잔류자화값이 증착상태보다 감소하였다.

3. 기판온도는 균일한 다층박막 형성에 도움이 되지 않으며 200 °C 이상에서 증착한 경우 합금박막 형태로 증착되어 열처리 후 거대자기저항 현상에 큰 변화가 없었다.

후 기

이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 학술연구비(신소재)에 의하여 지원된 결과의 일부이며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] M. Kitada, K. Yamamoto and N. Shimizu, *J. Magn. Magn. Mater.* **124**, 243 (1993).
 [2] A. Tsoukatos, D. V. Dimitrov, A. S. Murthy and G. C. Hadjipanayis, *J. Appl. Phys.* **76**, 6674 (1994).
 [3] 김용혁, 이성래, *한국자기학회지*, **7**, 308(1997); 김용혁, 이성래, *한국자기학회지*, **7**, 31(1997); 김용혁, 이성래, *한국자기학회지*, **5**, 451(1995).
 [4] T. L. Hylton, K. R. Coffey, M. A. Parker, and J. K. Howard, *Science*, **261**, 1021(1994).
 [5] T. L. Hylton, K. R. Coffey, M. A. Parker, and J. K.

Howard, *J. Appl. Phys.*, **75**, 7058(1994).
 [6] T. L. Hylton, K. R. Coffey, M. A. Parker, and J. K. Howard, *J. Appl. Phys.*, **75**, 6382(1994).
 [7] E. Sneek, R. Sinclair, T. L. Hylton, K. R. Coffey, M. A. Parker, J. K. Howard, A. Lessmann, A. I. Bienenstock, *J. Magn. Magn. Mater.*, **151**, 24(1995).
 [8] J. A. Borcher, P. M. Gehring, R. W. Erwin, C. F. Majkrzak, J. F. Ankner, T. L. Hylton, K. R. Coffey, M. A. Parker, *J. K. Howard, J. Appl. Phys.*, **79**, 4762 (1996).
 [9] T. L. Hylton, K. R. Coffey, M. A. Parker, and J. K. Howard, *Appl. Phys. Lett.*, **67**, 1154(1995).
 [10] S. C. Sander, R. W. Cross, S. E. Russek, A. Roshko, and J. O. Oti, *J. Appl. Phys.*, **79**, 6240(1996).
 [11] Y. K. Kum and S. C. Sander, *Appl. Phys. Lett.*, **66**, 1009(1995).
 [12] J. C. Slonczewski, *J. Magn. Magn. Mater.*, **129**, L123(1994).
 [13] E. E. Fullerton, I. K. Schuller, H. Vanderstraeten and Y. Bruyseraede, *Phys. Rev.*, **B45**, 9292(1992).
 [14] J. P. Locquet, Ivan K. Schuller, *Phys. Rev.*, **B39**, 1338(1989).
 [15] Y. K. Lee, Korea Univ. Master Thesis (1995).
 [16] E. M. Gyorgy, *Metallic Glasses*, American Society For Metal (1978) pp. 282-292.
 [17] L. Neel, *J. Phys. Radium* **17**, 250(1956).
 [18] H. Clow, *Nature.*, **194**, 1035(1962).
 [19] Peng, Chubing, Dai, Dao Sheng, *J. Magn. Magn. Mater.* **110**, 113(1992).

Structural, Magnetic, and Magnetoresistance Behavior of Magnetron Sputtered NiFe/Ag Multilayers under an Ar and Ar/H₂ Atmosphere

Yoo-Suk Shu and Seong-Rae Lee

Division of Materials Science and Engineering Korea University, Seoul 136-701

(Received 31 March 1999, in final form 20 May 1999)

Structural, magnetic and magnetoresistance behavior of NiFe/Ag multilayers prepared by a magnetron sputter under an Ar and Ar/H₂ atmosphere was studied. It was difficult to make a uniform multilayer by using an Ar atmosphere. However, the uniform multilayers could be fabricated by using an Ar/H₂ atmosphere. This was thought to be due to decrease in the energy of the sputtered atom and Ar content of the film. Typical magnetoresistance behavior of the discontinuous NiFe/Ag multilayer appeared when the uniform multilayer was formed and annealed. Substrate temperature did not improve the uniformity of the multilayers. Above 200 °C of the substrate temperature, the films were almost formed into granular alloys rather than multilayers.