

DC 마그네트론 스퍼터링으로 제작된 NiFe 박막에서 Ar 압력이 자기 및 자기저항 성질에 미치는 영향

민병철 · 신성철

한국과학기술원 물리학과

대전광역시 유성구 구성동 373-1, 305-701

(1996년 2월 3일 받음, 1996년 5월 17일 최종수정본 받음)

스퍼터링 방법으로 제작된 NiFe 박막에서 Ar 압력이 자기 및 자기저항 성질에 미치는 영향을 조사하였다. 타겟으로는 $Ni_{81}Fe_{19}$ 조성의 합금타겟을 사용하였다. TEM을 써서 박막의 미세구조를 조사하였으며, 보자력과 포화자화는 VSM으로 측정하였다. 합금박막의 조성은 ICPS로 분석 확인하였다. 10 mTorr 이상의 높은 Ar 압력에서 제작된 박막에서 갈라진 틈새(crack-like void)를 갖는 주상구조가 관찰되었다. 이러한 주상 결정립경계(columnar grain boundary)가 자화 과정에서 자구벽 핀닝자리(pinning site)가 되어, Ar 압력이 커짐에 따라 보자력이 증가하였으며, 박막의 밀도가 감소하여 포화자화가 줄어드는 것을 볼 수 있었다. 한편, Ar 압력이 증가하면서 자기저항비가 감소하는 결과를 얻었다. 결정립 경계 산란과 결정립간 터널링에 의한 박막의 비저항의 증가가 이러한 자기저항비 감소의 주원인을 알 수 있었다.

I. 서 론

강자성 전이금속과 합금에서 나타나는 비등방 자기저항효과(AMR; Anisotropic Magnetoresistance)는 1857년 William Thomson이 철이 자화 되면서 전기저항이 변함을 관찰한 이래 오래 전부터 연구되어 왔다[1]. 그 중 NiFe는 큰 자기저항비를 나타내는 대표적인 물질이며, 조성에 따라 상온에서 1~5% 정도의 자기저항비를 보이는 것으로 알려져 있다[2]. 특히 1970대 이후, 이 물질이 magnetic bubble device의 신호 검출기(signal detector)나 하드 디스크의 reading 헤드소자 등으로 응용성이 부각되면서 많은 연구가 이루어져 왔다[3]. MR 헤드는 기존 헤드보다 2~4배 높은 재생출력을 가지며, media의 자기선속(magnetic flux) 자체를 탐지하기 때문에 media의 속도에 무관하고, inductive 헤드에 비해 제조 공정이 간단하며, 데이터 전송속도가 높다는 점 등의 제 장점을 지니고 있어서, 소형의 고기록밀도 하드 디스크의 reading 헤드 재료로 연구되어 상품화되었고, 조만간 기존 헤드를 대체할 것으로 보인다[4].

한편, 1988년에 발견된 이래 세계적인 관심을 불러 일으킨 다층박막(multilayer)에서의 거대 자기저항 효과(GMR; Giant Magnetoresistance)[5]와 미세입상박막(granular film)[6]에서의 GMR은 자기저항비는 크나, 보자력이 수 kOe로 너무 커서 자기 헤드로 응용하기에는 문제가 있었다. 최근에는 이것을 극복하기 위하여, NiFe이 작은 보자력을 가지고 있음을 이용하여 Ni-Fe/Cu/Co/Cu 다층박막[7]이나 NiFe/Cu/NiFe/

FeMn 등의 스핀 밸브(spin-valve) 구조[8], 또는 Ni-Fe/Ag 불연속 다층박막[9] 등을 만들어 응용 가능한 GMR 소자를 만들고 있다. 특히, 불연속 다층박막의 경우는 박막의 미세구조가 GMR에 중요한 결과를 일으킨다고 보고되었다. 따라서, NiFe층의 성질을 이해하는 것이 중요하며, 박막의 성질이 제작방법에 의해 어떻게 달라지는가에 대해 연구할 필요가 있다. 박막의 제조방법에는 전자빔 진공증착(e-beam vacuum evaporation), 스퍼터링(sputtering) 등이 있는데, 박막의 기계적, 전기적, 자기적 성질이 제작조건에 의해 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다[10].

이 논문에서는 DC 마그네트론 스퍼터링으로 Ar 압력에 따라 제작한 박막에 대하여 박막의 조직, 조성, 미세구조 등을 조사하고, 이러한 미세구조와의 연관성에 기초하여 스퍼터링 Ar 압력이 박막의 포화자화·보자력 등 자기적 성질과 비저항·자기저항비 등 자기 수송(galvano-magnetic transport) 성질에 미치는 영향을 분석하였다.

II. 실험방법

스퍼터링용 타겟은 조성비 $Ni_{81}Fe_{19}$ wt.%, 순도 99.95%의 합금으로 된 지름 2"의 타겟(CERAC사 Lot # X 12398-3)을 사용하였고 DC 마그네트론 스퍼터링으로 박막을 제작하였다. 이 조성비에서 자기변형(magnetostriction)이 거의 없기 때문에[11] 이러한 퍼멀로이(permalloy) 조성을 택하였다. 기본 진공도 2.0×10^{-6} Torr 이하에서 실험하였으며, 타겟과 기판의 거리는 3"였

다. 회전가능한 기판지지대를 사용하여 최고 12개의 시편을 한 batch에서 증착하였다. 증착속도(deposition rate)는 증착된 필름의 두께를 α -step으로 측정하여, 이 두께를 증착시간으로 나누어 구했다. 각 제작조건에 따라 증착속도를 모두 구한 뒤, 증착시간을 적절히 선택하여 박막의 두께를 조절하였다.

실험에서 선택한 Ar 압력 영역은 2, 5, 8, 10 mTorr였고, 각 Ar 압력에 대하여 power를 100 W, 200 W, 300 W로 변화시켰으며, 제작된 시료의 두께는 2000 Å 이었다. 시편 제작 도중에 자기장이나 열을 가하지는 않았으며, 투과전자현미경 실험을 위한 시편 외에는 1"×1" 크기의 유리 기판(Corning glass #7059)을 사용하였다. 이 시편들에 대해 조직을 조사하기 위하여 x선 회절 실험을 하였고, ICPS(Inductively Coupled Plasma Spectroscopy)로 성분 분석 실험을 하였으며, VSM(Vibrating Sample Magnetometer)으로 자기이력 곡선을 측정하였다. 이 곡선들로부터 포화자화와 보자력, squareness 등의 값을 얻어내었다.

TEM(Transmission Electron Microscope)시편은 탄소가 50 Å 입혀진 3 mm 직경의 200 mesh grid 위에 400 Å 두께의 박막을 직접 증착하는 방법을 택했다. 이 방법을 택한 이유는 입혀진 탄소가 비정질(amorphous)로서 유리기판과 비슷한 효과를 보일 것으로 예상했기 때문이다. Ar 압력 2, 5, 10, 20 mTorr, power 100 W에서 제작한 박막의 평면을 확대 배율 300,000배에서 촬영하였고, ASTM(American Society for Testing and Materials)에서 정한 선형교차법(linear intercept method)[12]으로 결정립 크기(grain size)를 결정하였다.

자기저항 효과 측정용 시편은 2 ~ 20 mTorr 영역에서 Hall geometry을 가진 shadow mask를 사용하여 두께 400 Å로 제작되었다. 외부자기장을 헬름홀쯔 코일로 변화시키며, four probe 방법으로 저항을 측정하였다. 저항은 자기장과 전류방향이 평행한(longitudinal) 경우와 수직인(transverse) 경우에 대하여 측정하였다. 외부 자기장은 가우스미터(F. W. Bell사, 모델번호 9500)를 써서 직접 측정하였다. 전류는 10 mA 정전류원을 제작하여 사용하였고, 전압차는 멀티미터(HP사, 모델번호 344-01A)로 측정했다. 가우스미터와 멀티미터는 GPIB card(IO tech사, 모델번호 GP488B)로 IBM PC와 연결하였다.

III. 결과 및 논의

400 Å 두께로 제작된 시편의 x선 회절 실험결과가

Fig. 1에 나타나 있다. 박막은 다결정구조를 가지며 주 성장방향(111) 방향임을 보여준다. 약간의 (200) 봉우리도 있는 것으로 나타났으나, 다른 봉우리들은 확인할 수 없었고, Ar 압력에 대해 박막의 우선 배향성은 변하지 않았다. 또한, 2000 Å 두께로 제작한 박막들의 x선 회절 실험 결과에서 (111) 봉우리의 위치가 Ar 압력에 따라 이동하는 것이 관찰되었다. 이 봉우리의 위치에서 구한 (111) 층간의 간격 d_{111} 은 박막이 받고 있는 응력을 반영한다[13].

$$\sigma = \left(-\frac{E}{2\nu}\right) \left(\frac{d-d_0}{d_0}\right) \quad (1)$$

E : Young's modulus,

ν : Poisson's ratio,

d : lattice spacing of film,

d_0 : lattice spacing of stress-free film

(Ni₇₉Fe₂₁의 경우 $d_0 = 2.049 \text{ \AA}$)

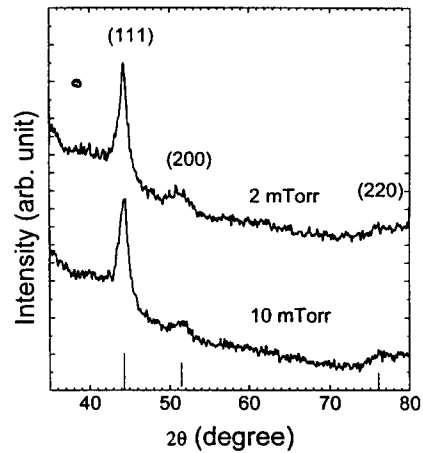


Fig. 1. X-ray diffraction patterns of 400-Å-thick NiFe films deposited at 2-mTorr and 10-mTorr Ar pressures with 100-W sputtering power.

Fig. 2는 이 간격이 Ar 압력이 2 ~ 10 mTorr 범위 내에서 압력에 따라 대체로 줄어드는 경향이 있음을 나타낸 것이다. 탄성한도 내에서 박막 수직 방향의 간격이 줄어든다는 것은 수평방향으로 인장 응력을 받는다는 것을 뜻한다. 따라서, 이 Ar 압력 범위 내에서는 압력이 증가할수록 박막이 받는 인장응력이 대체로 증가하는 경향이 있다고 볼 수 있다.

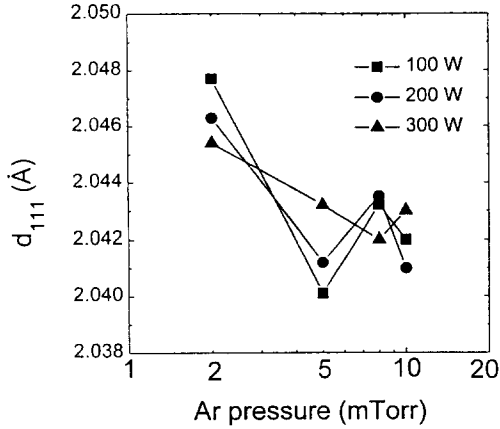
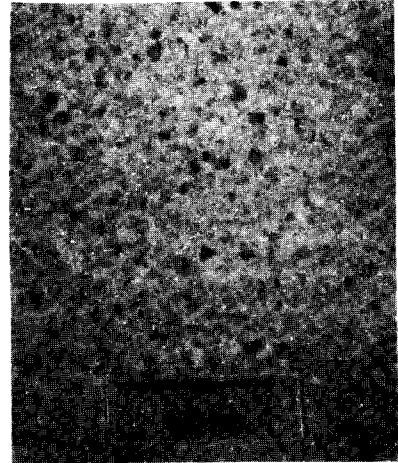


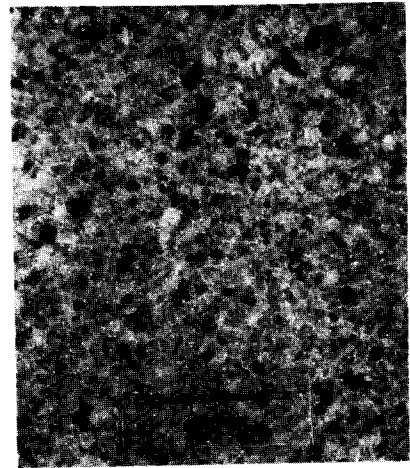
Fig. 2. The lattice spacing d_{111} of 2000-Å-thick NiFe films prepared at various deposition conditions. The d_{111} was decreased with increasing Ar pressure. The d_{111} for $Ni_{79}Fe_{21}$ powder is 2.049 Å.

Fig. 3은 투과전자현미경(Transmission Electron Microscope)으로 400 Å 두께의 박막의 미세구조를 조사한 것을 나타낸 것이다. Ar 압력이 2 mTorr일 때는 결정립들이 잘 연결되어 있는 연속적인 박막 구조를 갖는다. 그러나, 5 mTorr 시편에서부터 각각의 결정립들이 완전히 붙어 있지 않고, 결정립간에 틈새(void)가 생기기 시작한다. Ar 압력이 더 커지면 이러한 경향성이 증가하여, 10 mTorr 이상에서 제작된 시편에서 박막이 갈라진 틈새(crack-like void)를 가진 주상 구조(columnar structure)를 이루고 있음을 볼 수 있다. Ar 압력이 증가함에 따라 타겟 입자들이 Ar 원자와 더 많이 충돌하게 되고, 이것은 박막 성장면에 도달하는 타겟 입자의 에너지를 감소시킨다. 물론 여기서 타겟과 기판 사이의 거리가 중요한 변수가 될 것이지만 경향성에 있어서 큰 차이는 없을 것이다. 기판에 흡착된 입자의 에너지가 작으면 기판 내에서 유동성 또한 작고, 합착(coalescence) 단계에서 각 핵들이 서로 만날 수 있는 기회가 작아진다. 따라서, 연속적인 박막을 만들지 못하고, 틈새를 포함한 그물 형태의 박막이 성장한다. 2 mTorr, 5 mTorr, 10 mTorr, 20 mTorr에서 제작된 박막에 대하여 선형교차법(linear intercept method)으로 측정된 평균교차거리(mean intercept distance)는 각각 62 Å, 67 Å, 76 Å, 83 Å 였다. 이로부터 각 결정립이 직경이 동일한 원기둥이라고 가정하고 계산해본 결정립의 직경은[12] 각각 70 Å, 76 Å, 86 Å, 93 Å 로서 Ar 압력이 증가함에

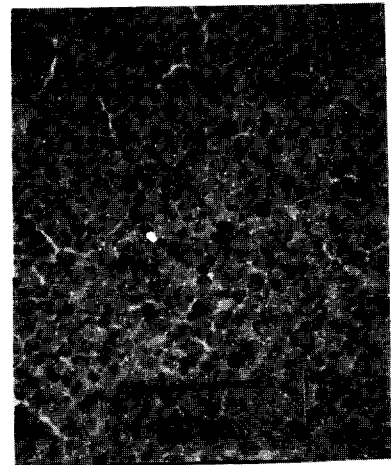
(a)



(b)



(c)



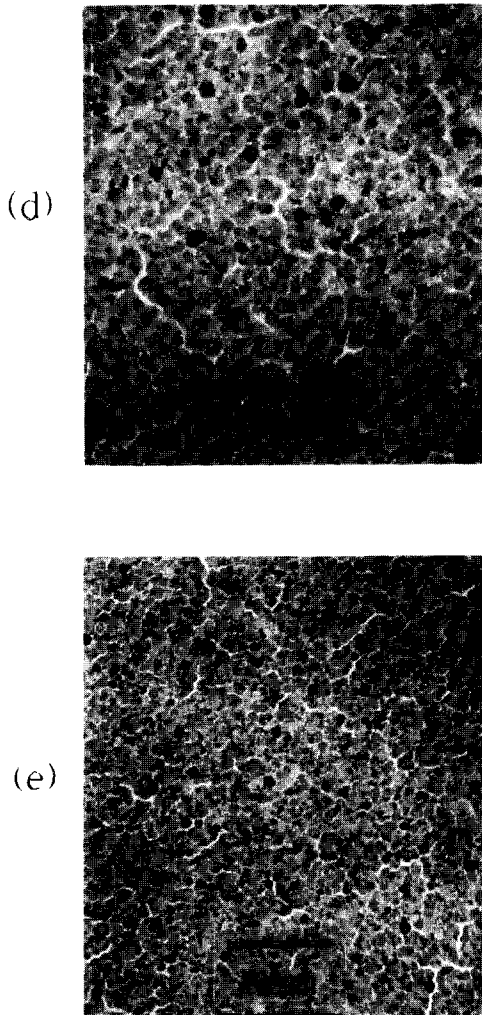


Fig. 3. TEM micrographs of 400-Å-thick NiFe films deposited at various Ar pressure with 100-W sputtering pressure. These figures show different mean intercept distance, \bar{i} and nominal diameter, d_n . (a) 2 mTorr : $\bar{i} = 62$ Å, $d_n = 70$ Å, (b) 5 mTorr : $\bar{i} = 67$ Å, $d_n = 76$ Å, (c) 10 mTorr : $\bar{i} = 76$ Å, $d_n = 86$ Å, (d) 20 mTorr : $\bar{i} = 83$ Å, $d_n = 93$ Å, (e) 20 mTorr. The magnification ratio is 300,000 times for all samples except the sample (e) with 200,000 times.

따라 결정립 크기가 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 현상은 위에서 설명한 바와 같이 Ar 압력이 커지면 기판에 도달한 입자의 에너지가 작아져, 흡착된 입자가 다른 곳으로 이동하지 못하고 원래 있던 기둥(column)에 붙

어있게 되어 기둥의 직경이 커지는 것으로 생각된다.

Fig. 4에 박막의 조성을 조사한 ICPS의 결과가 나와 있다. Ar 압력 대 Ni 함량을 보면, Ar 압력이 클수록 Ni 이 더 많이 증착이 되며, 10 mTorr의 경우가 2 mTorr의 경우보다 2%정도 Ni 조성비가 증가하고 있음을 나타내고 있다. 한편, 조성비는 스퍼터링 출력에 대해서는 뚜렷한 어떤 경향성을 갖지 않는 것으로 나타났다. 일반적으로 스퍼터링의 경우에는 타겟의 조성비와 시편의 조성이 거의 같다고 보고되고 있다[14]. Fig. 4와 같이 높은 Ar 압력에서 Ni이 더 많이 증착된 현상은 Ar이 증가하면서 타겟에서 기판으로 가는 동안 충돌이 많아지면서 상대적으로 방출(ejection) 에너지가 큰 Ni이 기판에 좀더 많이 도달하기 때문으로 생각된다.

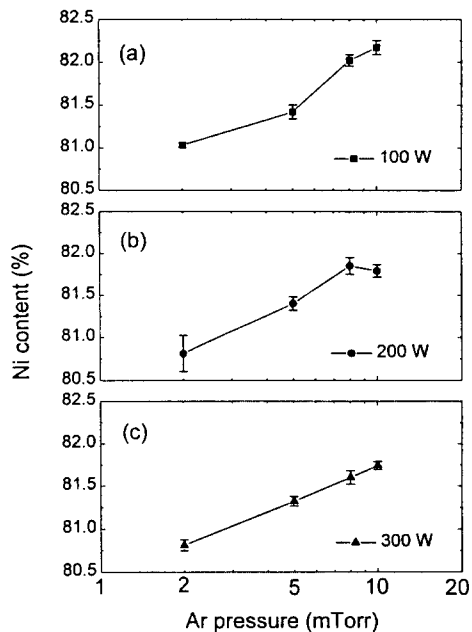


Fig. 4. Ni content of 2000-Å-thick films as a function of sputtering Ar pressure with different sputtering powers of (a) 100 W, (b) 200 W, (c) 300 W. The composition of films was measured by ICPS.

Fig. 5는 Ar 압력에 커짐에 따라 포화자화가 감소하는 경향을 보이고 있음을 나타낸 것이다. 이는 박막 구조에서 살피본 바와 같이 Ar 압력이 크면, 성장한 박막 내에 틈새등이 분포하게 되어 박막의 밀도가 감소하고, 결정립 경계가 산화되기 쉽기 때문에 단위 부피 당 포화자화가 작아지게 되는 것으로 생각된다. 조성 변화도 박막의 포

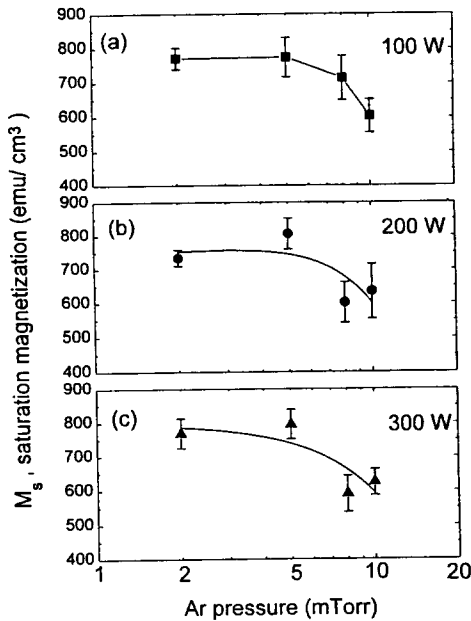


Fig. 5. M_s , saturation magnetization of 2000-Å-thick films vs Ar pressure. The films were deposited at (a) 100 W, (b) 200 W, (c) 300 W, respectively. The saturation magnetization was determined from M-H hysteresis curve.

화자화에 영향을 줄 수 있지만, 2% 조성 변화 영역에서는 이 영향을 무시할 수 있다. 따라서, 포화자화의 감소 경향은 주로 박막 밀도 감소에 기인한 것으로 사료된다.

Fig. 6은 Ar 압력의 증가에 따라 보자력(coercivity)이 증가함을 나타낸 것이다. 압력이 높은 쪽은 갈라진 틈새(crack-like void)를 가진 주상 결정립경계 등 자구벽 핀닝자리(pinning site)가 많다. 이러한 평면 결함(planar defect)들은 자구벽이 외부 자기장에 의해 이동하는 것을 방해하므로, 높은 Ar 압력으로 제작한 박막의 보자력이 크다. 또한, 잔류자화 대 포화자화의 비로 정의한 각형비(squareness)를 보면, Ar 압력이 커지면서 각형비가 감소한다. 박막이 푸석(porous)해지면서 결정립 간의 교환상호작용 결합이 감소함에 따라 자화의 반전시 결맞음 회전(coherent rotation)을 하지 못하게 되어 각형비가 감소하는 것으로 이해할 수 있다.

Fig. 7은 자기저항 곡선이 비등방 자기저항 곡선의 전형적인 예를 보여주고 있음을 나타내고 있다. 여기서 시료의 자화 과정과 자기저항 효과가 밀접한 관련을 가지고

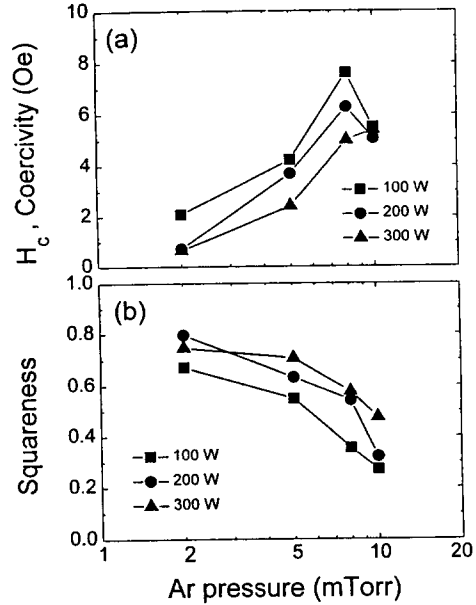


Fig. 6. (a) H_c , coercivity vs Ar pressure. (b) squareness vs Ar pressure. The squareness is defined by a ratio of the remnant magnetization to the saturation magnetization.

있음을 볼 수 있다. 시편의 자기저항 효과를 결정하는 물리적 변수는 B 이며, 자기저항비는 대략 B^2 에 비례한다. 이 시편계에서 M 이 상대적으로 크므로 H 의 효과는 무시할 수 있다. 따라서 시편의 자화상태가 저항변화를 결정한다. 한편, 저항의 비등방성은 비등방 산란의 결과이다. 비등방 산란은 입방 대칭보다 대칭성이 낮은 산란 포텐셜(scattering potential)이나 입방 대칭보다 낮은 대칭성을 갖는 파동함수에 의해 일어난다. 산란 포텐셜이 등방적이라고 생각하면, 파동함수의 대칭성이 낮아지는 것이 비등방 산란의 주요 원인이며, 파동함수의 대칭성은 스핀-궤도 결합(spin-orbit coupling)에 의해 낮아진다. 궤도운동은 결정장(crystal field)에 의해 격자와 결합되어 있고, d 전자의 스핀은 이 궤도 운동과 결합된다. 스핀궤도 결합이 서로 다른 스핀함수들을 가진 파동함수를 섞어 주기 때문에 교환상호작용에 의해 갈라진 각 d -띠(band)는 더 이상 스핀의 z 성분에게 고유상태가 아니다. 그리고, 각 d 상태들이 섞이는 것이 비등방적이어서, 전자의 진행방향 k 가 자화 M 과 평행할 때 전자가 산란할 확률이 더 커져 실험과 같이 $\rho_{\parallel} > \rho_{\perp}$ 인 결과가 도출된다 [15]. 이와 같이 $\Delta\rho$ 가 발생하는 원인은 외부자장 인가시

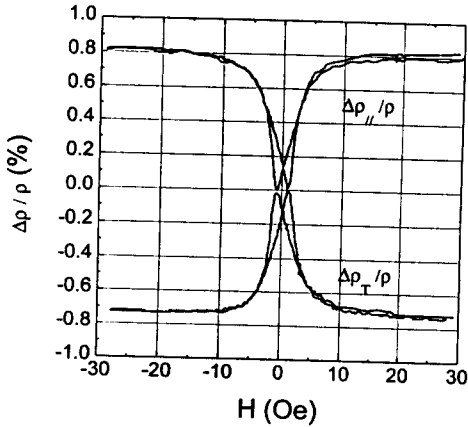


Fig. 7. A measured MR curve of 400-Å-thick films deposited at 2 mTorr with 100-W sputtering pressure. The zero-field resistivity ρ_0 is 44.26 $\mu\Omega\text{cm}$. The upper curve is longitudinal, positive MR curve, while the lower curve is transverse, negative one. The magnetic field is applied in the plane of current flow.

교환상호작용에 의해 갈라진 d 전자의 상태 사이로 전도 전자인 s 전자가 스핀 의존 산란 (spin-dependent scattering)을 해 들어가기 때문이고, $\Delta\rho$ 에 생기는 비등방성은 스핀-궤도 결합이 반영된 전자구조에서 오는 것으로 알려져 있다. NiFe의 경우 자장의 방향과 반평행한 스핀 방향의 전자가 평행한 전자보다 20배 가량 더 산란될 확률이 높은 것으로 조사되었다[16].

Fig. 8(c)은 100 W에서 Ar 압력을 달리하며 자기저항비를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 압력이 커지면서 자기저항비가 감소하는 경향을 얻었다. 여기서 자기저항비는 $\Delta\rho/\rho_{ave} = (\rho_{||} - \rho_{\perp}) / (1/3\rho_{||} + 2/3\rho_{\perp})$ 로 정의하였다[17]. $\rho_{||}$, ρ_{\perp} 는 $M = M_s$ 로 포화되었을 때의 값이며, $\Delta\rho_{||}$, $\Delta\rho_{\perp}$ 는 포화 상태의 비저항에서 $M = 0$ 인 탈자 (demagnetized) 상태에서의 비저항 ρ_{demag} 와의 차, 즉 $\Delta\rho_{||} = |\rho_{||} - \rho_{demag}|$, $\Delta\rho_{\perp} = |\rho_{\perp} - \rho_{demag}|$ 로 정의하였다. Fig. 8(a)에서 보듯이 $\Delta\rho_{||}$ 는 Ar 압력에 대해 증가하고, $\Delta\rho_{\perp}$ 는 감소하지만, 전체 자기저항 변화 $\Delta\rho = \Delta\rho_{||} + \Delta\rho_{\perp}$ 는 Ar 압력에 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 한편, Fig. 8(b)의 결과에서처럼 비저항은 Ar 압력이 커짐에 따라 증가한다. 따라서, Fig. 8(c)와 같은 자기저항비의 감소는 주로 비저항 증가에 의한 것이다.

$\Delta\rho = \Delta\rho_{||} + \Delta\rho_{\perp}$ 는 Ar 압력 변화에 대해 일정하나 $\Delta\rho_{||}$, $\Delta\rho_{\perp}$ 각각은 Ar 압력에 의존하는 현상은 탈자 상태의

저항 ρ_{demag} 이 각 경우에 대해서 다르기 때문으로 생각된다. 같은 자화를 갖고 있더라도 자구의 상태가 어떻게 배열되었는가에 따라 저항이 달라질 수 있다. 실제로 Ni층 [111]방향이 자화 용이축인 자구가 임의로 배열할 경우만 ρ_{ave} 와 ρ_{demag} 이 같은 값을 갖는 것으로 알려져 있다[17]. 결과적으로 연속적인 박막인 2 mTorr 시편에서는 $\rho_{demag} > \rho_{ave}$ 이고, 비교적 불연속적인 10 mTorr이상의 시편에서는 $\rho_{demag} < \rho_{ave}$ 인 것으로 생각된다. 불연속적인 박막에서 전자가 산란을 더 자주 겪게 되면서, 평균자유경로가 짧아지고, 페르미 면을 이동하는 거리가 줄어들기 때문에 수직 MR이 작아질 수도 있을 것으로 생각되나, 이러한 기여에 대해서는 좀더 많은 조사가 필요하다.

Fig. 8(b)의 결과에서처럼 Ar 압력이 커짐에 따라 저항이 증가하는 현상에 대하여 생각해 보자. 앞에서 살펴본 바와 같이 Ar 압력이 증가할 수록 박막에서 틈새가 차지하는 부피가 늘어난다. 만약에 틈새로 떨어져 있는 결정립 사이에 필라멘트와 같이 연결되어 있는 경로가 있다면, 저항이 병렬로 연결되어 있는 구조와 같으므로 10 Å

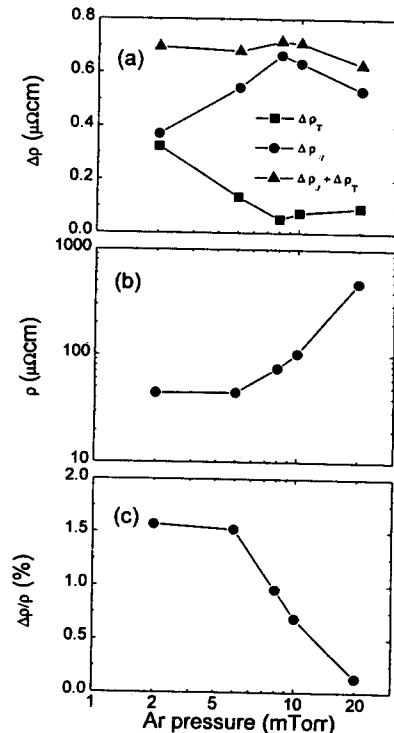


Fig. 8 (a) The resistivity change, (b) the resistivity, and (c) the MR ratio are plotted as a function of Ar pressure. The results are for the case of 400-Å-thick films deposited at 100-W sputtering power.

이상 떨어져 있는 결정립사이에서 터널링을 할 필요가 없다. 이렇게 터널링의 영향을 무시할 수 있다면, 틈새는 전자가 실제로 보는 단면을 작게 만드는 역할만 한다고 가정할 수 있을 것이다. 이런 경우 틈새의 효과는 전자가 보는 유효 면적 대 전체 면적의 비의 역수로 저항에 기여할 것이다. 그러나, 부피 비는 Fig. 5의 자화의 변화에서 보듯이 20% 안팎인데 반해 Fig. 8(b)의 비저항은 10배 이상 변하여 두 값 사이에는 큰 차이가 있으므로 터널링의 효과를 무시할 수 없다. 따라서, 박막 내에서의 비저항은 결정립 경계 산란, 결정립간 터널링 등을 통해 영향을 받는다고 생각된다. Mayadas 등이 제안한 바와 같이, 결정립경계를 가우스 분포되어 있는 σ 함수들의 연속으로 생각하는 1차원 모델을 세워 계산하면, 저항은 결정립 크기 대 전자의 평균자유경로 비가 작을수록, 결정립경계에서의 반사 계수가 클수록 증가한다[18]. 이에 따르면 Ar 압력이 증가할수록 결정립 크기가 증가한 것은 그 차이가 근소할 뿐더러 오히려 저항을 감소시키는 역할을 한다. 따라서, Ar 압력이 증가함에 따라 포텐셜 벽의 역할을 하는 결정립경계에서의 반사계수가 증가한 것이 비저항 증가의 주요 원인이라고 생각된다. 실험에서 관찰한 바와 같이 Ar 압력이 증가하면 박막 내에 갈라진 틈새가 증가하고, 이러한 갈라진 틈새는 너비가 넓은 포텐셜 벽에 해당한다. 이렇게 주상결정립경계를 포텐셜 벽으로 생각하면, 경계에서 느끼는 포텐셜에너지가 커질수록 그리고 포텐셜 벽의 너비가 넓을수록 결정립경계에서의 반사계수가 커질 것이고 터널링은 반대로 더 적게 일어날 것이다. 그러므로, Ar 압력이 클수록 박막 내에 틈새를 가진 주상 결정립경계가 발달함으로써 비저항이 증가하여 전체 자기저항효과가 감소한다고 해석할 수 있다.

IV. 결 론

자기저항소자로 사용되는 $Ni_{81}Fe_{19}$ 합금박막을 DC 마그네트론 스퍼터링으로 제작할 때 Ar 압력이 자기적 성질과 자기저항 효과에 미치는 영향을 조사하고, 미세구조 측면에서 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Ar 압력 증가에 따른 포화자화의 감소는 박막의 밀도 감소에 기인하며, 보자력의 증가는 갈라진 틈새를 가진 주상구조 등, 자구벽 핀닝자리가 늘어남에 따른 결과로 풀이된다.
- 2) Ar 압력의 변화에 따른 박막의 결정립 크기는 큰 변동이 없으나, Ar 압력이 클수록 박막 내에 틈새를 가진 주상 결정립경계가 발달함으로써, 결정립경계 산란과 결정립간 터널링에 의해 비저항이 증가하여

전체 자기저항효과가 감소하였고 포화 자장도 증가하는 결과를 얻었다.

참 고 문 헌

- [1] R. M. Bozorth, Ferromagnetism (D. Van Nostrand, London, 1951), p. 745.
- [2] E. N. Mitchell, H. B. Haukaas, H. D. Bale, and J. B. Streep, J. Appl. Phys. **35**, 2604 (1964).
- [3] D. A. Thomson, L. T. Romankiw, and A. F. Mayadas, IEEE Trans. Magn. **MAG-11**, 1039 (1975).
- [4] 김 인응, 한국자기학회지 **5**, 233 (1995).
- [5] M. N. Babich, J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Etienne, G. Creuzert, A. Fridrich, and J. Chazelas, Phys. Rev. Lett. **61**, 2472 (1988).
- [6] J. Q. Xiao, J. S. Jiang, and C. L. Chien, Phys. Rev. Lett. **68**, 3749 (1992).
- [7] T. Shinjo and H. Yamamoto, Jpn. J. Phys. Soc. **59**, 3061 (1990).
- [8] B. Dieny, V. S. Speriosu, S. S. P. Parkin, B. A. Gurney, D. R. Wilhoit, and D. Mauri, Phys. Rev. B **43**, 1297 (1991).
- [9] T. L. Hylton, K. R. Coffey, M. A. Paker, and J. K. Howard, Science **261**, 1021 (1993).
- [10] R. F. Bunshah, Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings, (Noyes Publications, New Jersey, 1994), 2nd ed., p. 12.
- [11] R. M. Bozorth, Ferromagnetism (D. Van Nostrand, London, 1951), p. 667.
- [12] Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.02, E112-88 (1988) p. 835.
- [13] M. M. Yang and J. A. Aboaf, J. Appl. Phys. **66**, 3734 (1989).
- [14] L. I. Meissel and R. Glang, Handbook of Thin Film Technology, (McGraw-Hill, New York, 1983), p. 9-27.
- [15] R. I. Potter, Phys. Rev. B **10**, 4626 (1974).
- [16] I. A. Campbell and A. Fert, Ferromagnetic Materials, (North-Holland, 1982) vol. 3, p. 766.
- [17] T. R. McGuire, and R. I. Potter, IEEE Trans. Mag. **MAG-11**, 1018, (1975).
- [18] A. F. Mayadas, and M. Shatzkes, Phys. Rev. B **1**, 1382 (1970).

The Effects of Ar Gas Pressure on the Magnetic and Galvano-magnetic Properties of NiFe Thin Films Prepared by dc Magnetron Sputtering

Byoung-Chul Min and Sung-Chul Shin

Department of Physics, KAIST

305-701, Gusong-Dong, Yusong-Gu, Taejon, Korea

(Received 3 February 1996, in final form 17 May 1996)

We have investigated the effects of sputtering Ar gas pressure as well as other deposition conditions on the magnetic and galvano-magnetic properties of NiFe thin films. The films were prepared by dc magnetron sputtering from Ni₈₁Fe₁₉ wt.% alloy-target. The microstructures of the films were investigated by TEM, M-H hysteresis loops by VSM, and the composition by ICPS. The columnar structures with crack-like voids were observed in the films deposited at high Ar pressures (≥ 10 mTorr). These crack-like voids were believed as domain wall pinning sites in magnetization process. So, the coercivity of the film was increased with increasing Ar pressure, while the saturation magnetization was decreased due to decrease of the density. The magnetoresistance was also reduced with increasing Ar pressure, due to increase of the resistivity of film. It was believed that grain boundary scattering and intergranular tunneling made the resistivity of films high.