

자기저항헤드용 Ni₈₁Fe₁₉ 박막의 구조 및 전자기적 특성에 미치는 자장중 열처리의 영향

김용성 · 이경섭 · 서수정 · 박현순

성균관대학교 공과대학 금속공학과
수원시 장안구 천천동 300, 440-746

김기출 · 송용진

아주대학교 물리학과
수원시 팔달구 원천동 산 5, 442-749

(1996년 7월 2일 받음, 1996년 9월 14일 최종수정본 받음)

RF-마그네트론 스퍼터법으로 제조된 400 Å의 Ni₈₁Fe₁₉ 박막을 자장중에서 열처리할 때 박막의 미세구조 및 표면형상의 변화에 따른 전자기적 특성을 조사하였다. 보자력은 열처리 온도가 300 °C까지 증가함에 따라 박막내부 잔류응력의 감소 및 재결정에 의해 감소하였고, 400 °C에서는 결정립성장 및 표면조도의 증가에 의해 증가하였다. $4\pi M_s$ 는 열처리 온도에 따라 큰 변화를 보이지 않고, 9.2 kG 수준의 거의 일정한 값을 보였다. 열처리 온도가 증가함에 따라 전기비저항은 37 $\mu\Omega cm$ 에서 24 $\mu\Omega cm$ 로 감소하였으며, 자기저항값은 0.6 $\mu\Omega cm$ 수준으로 거의 일정한 값을 보였고, 자기저항비는 1.5 %에서 3.1 %로 증가 하였다. 따라서 자기저항비의 증가는 주로 전기비저항의 감소에 기인한 것으로 나타났다. 이상에서 박막을 실제적인 자기저항 헤드에 응용을 고려시, 최적 열처리조건은 400 Oe의 일방향 자장중 300 °C에서 1시간 열처리할 때로 나타났다.

I. 서 론

최근 자기 기록정보의 고밀도화와 이에 따른 우수한 재생능력에 대한 요구에 의해 민감하고도 정확한 박막형태의 소형 자기센서 개발이 필수적이다 [1]. 특히 고밀도용 컴퓨터 하드디스크, DCC (digital compact cassette), HDTV 대응 VCR (video cassette record)의 자기헤드 등과 같은 박막자성 디바이스에 관련된 Ni₃Fe 퍼말로이 합금박막의 연구가 최근 활발히 진행되고 있다 [2] [3] [4].

박막자성 디바이스 중에서도 퍼말로이의 자기저항 (magnetoresistance : MR) 효과를 이용한 센서 디바이스는 그 두께가 1000 Å 이하의 극히 얇은 박막으로 증착되어야 하며, 이와 같은 박막은 높은 자기저항 효과, 낮은 보화자계 및 낮은 보자력과 같은 열자기적 특성이 요구되고 있다 [5].

일반적으로 박막은 벌크 재료에 비해 내부에 많은 결핵, 전위 등과 같은 결함을 함유하며, 원자결합의 변화에 의한 상의 변화, 그리고 조성적 불균일과 불순물 등을 포함하고 있다. 이러한 내부상태는 증착방법에 따라 표면구조와 연관되며, 박막의 전자기적 특성에도 직접적인 영향을 미치는 것으로 보고되고 있으나 상호관계 규명은 미흡

한 실정이다 [6] [7].

종래의 자성 디바이스에 사용되어온 퍼말로이 박막의 제작 방법에는 도금법, 저항가열법, 전자빔 증착법 (EB 증착법), 또는 스퍼터법 등의 다양한 방법이 사용되고 있으며, 이와 같이 여러 증착법으로 증착된 퍼말로이 박막의 전자기적 특성에 대한 보고 [8] [9]는 많으나 실제 고밀도기록의 재생전용 헤드의 자기저항 소자로 적용가능한 수백 Å 범위의 두께에 대한 박막의 내부구조 및 표면상태에 따른 전자기적 특성에 대한 연구는 거의 보고되고 있지 않다.

본 연구에서는 퍼말로이 박막을 실제 자기저항 헤드의 소자로 적용하기 위해 영자에 조성인 Ni₈₁Fe₁₉ (wt%)의 합금 타겟을 사용하여 박막 증착시 균일한 박막조성 및 증착특성을 나타낼 것으로 판단되는 RF-마그네트론 스퍼터링 공정으로 400 Å의 박막을 증착하였다. 그리고 박막내 일축 유도 자기이방성을 부여하기 위해 400 Oe의 자장 중에서 열처리시 열처리 온도 변화에 따른 박막의 내부 및 표면 미세구조 변화에 따른 전자기적 특성에 대해 연구하였다.

II. 실험 방법

본 실험에서 사용한 스퍼터 장치는 Varian 모델 VKR

12로 고주파 마그네트론 방식으로 13.56 MHz의 고주파 전원을 사용하였다. 기판은 원판형으로 타겟 아래에 설치하였으며 기판의 상하 이동과 회전 그리고 DC bias 전압 인가가 가능하게 제작되었다. 타겟은 미국 CERAC사의 HIP으로 제작한 합금타겟으로서 조성은 Ni₈₁Fe₁₉ (wt %), 기판은 Corning glass 7059을 사용하였고, 기판의 크기는 각 용도에 알맞은 크기로 제조하였다. 기판의 전 처리는 H₂SO₄ + H₂O₂, Trichloroethylene, Aceton, deionized water 순으로 6분씩 초음파 세척을 행하였다. 박막제조시 초기진공도는 7 × 10⁻⁷ Torr 이하로 유지하였으며, 공정가스로는 고순도 Ar (99.999% 이상)을 사용하였다. 박막의 제조는 여러 공정조건을 검토하여 기판 온도 100 °C, 투입전력 300 W, 아르곤압력 1 mTorr에서 증착하였다.

증착된 박막에 일축 유도 자기이방성을 부여하기 위해서 자장중 열처리를 실시하였다. 열처리 장비는 자체 제작한 장비로서 가열원은 할로겐 램프, chamber는 석영관을 사용하였으며, 로터리 펌프를 이용하여 5 × 10⁻³ Torr 이하의 진공을 유지시켰다. 이때 열처리는 400 Oe 자기장이 인가된 전자석 하에서 열처리 온도 200, 300, 400 °C로 변화시켜 자장중 열처리를 1시간씩 실시하였다.

박막의 두께측정은 α-step과 DekTak 기기를 이용하여 측정하였다. 조성분석은 ICPS (inductively coupled plasma spectroscopy)를 이용하여 용매로 박막을 녹여 각 성분의 조성비를 구하였고, AES (Auger electron spectroscopy)를 이용하여 실제 증착된 박막의 두께별 조성변화와 구조적저동을 스퍼터속도 110 Å/min로 측정해 가면서 조사하였다.

박막의 구조를 조사하기 위해 XRD (Rigaku D/MAX-III)로 입사각도 2°, 타겟은 Cu, 가속전압 및 전류는 40 kV, 100 mA에서 분당 1°로 scanning하여 회절실험을 하였다. 또한 관찰된 회절 피크의 반가폭으로 Scherrer 식을 이용하여 입자의 크기 및 격자상수를 계산하였다 [10]. 미세조직 관찰은 투과 전자현미경 (transmission electron microscopy : TEM)을 이용하였고, 투과 전자현미경의 시편은 carbon이 입혀진 Cu grid위에 박막을 400 Å 증착하여 제작하였다. 이때 명시야상으로 합금박막의 미세조직을 관찰하고, 제한시야 회절상으로 결정구조를 분석하였다. 증착된 박막의 표면구조를 비파괴적으로 직접 조사하기 위해 PSI (Park Scientific Instruments)의 AFM (atomic force microscope) Auto Probe CP를 사용하여 박막의 표면상태를 조사하였다.

자기적 특성은 자장중 열처리시 자장 인가방향에 평행

한 축을 자화용이축 (easy axis) 및 수직인 축을 자화곤란축 (hard axis)으로 설정하여, 박막의 포화자속밀도 (4 π M_s), 보자력 (H_c)을 DMS사의 진동 시료형 자속계 (vibrating sample magnetometer)로 측정하였다. 또한 박막의 전기 및 자기 저항값 측정을 위해서 자기저항 측정장치 및 시험편을 Fig. 1과 같이 제작하였다. 전기저항 및 자기저항비 측정은 시편내 전류 분포밀도를 균일하게 유지키 위하여 박막위에 유리 및 스테인레스 패턴을 얹은 후 양단에 Au로 2단자 Ohm 전극을 형성시켰다 [11]. 또한 접촉저항을 줄이기 위하여 인듐으로 전선과 Au 전극을 냉접시킨 후 시편을 Helmholtz coil 내부에 설치하고, D. C. bridge법으로 자장중에서의 저항변화 및 박막시편의 기하학적 형상에 따른 저항은 $R = \rho \cdot \ell / ht$ 식을 이용하여 측정하였다.

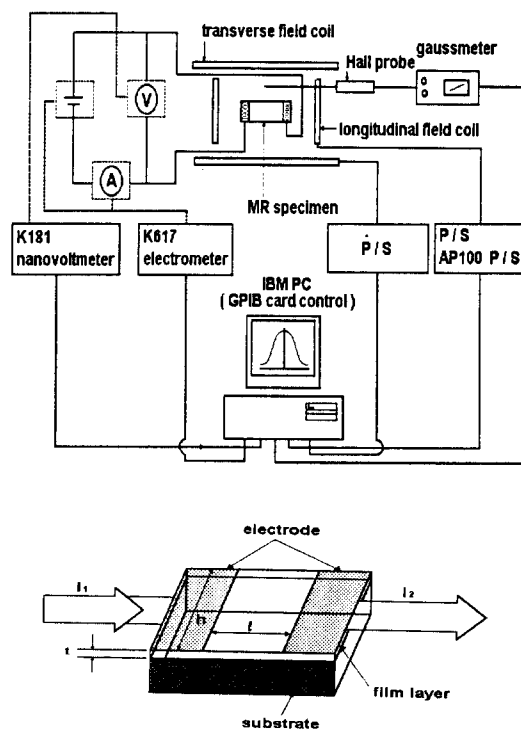


Fig. 1 Schematic diagram of the magnetoresistance measurement system and test specimen.

III. 실험결과 및 고찰

퍼말로이 박막에서 합금조성은 소자의 자기저항, 자기 변형 등의 전자기적 특성을 재어하기 위해 매우 중요한

요소로 작용하기 때문에 Ni와 Fe의 함량비 또는 박막내부의 조성 분포상태를 아는 것이 필요하다. 따라서 본 실험에서 적용한 스퍼터 공정조건에서 증착된 박막의 조성은 ICPS 분석결과 Ni : 81.4 %, Fe : 18.6 %로 분석되었으며, 이는 퍼말로이 합금박막에서 자기변형이 0으로 보고되고[12] 있는 조성의 범위에 포함됨을 알 수 있다. Fig. 2는 내부 조성분포를 확인하기 위하여 AES로 depth profile한 결과이다. 분석결과 박막표면에는 산소가 비교적 많이 검출되었으나 이는 시편분석시 대기노출에 의한 자연 산화효과로 판단되며, 박막 내부에서는 불순물이 많이 감소되었고, 두께층의 조성은 Ni와 Fe의 조성변화가 거의 균일 하였다. 이는 실험에 사용한 합금타겟의 경우 원소마다 스퍼터량의 차이가 발생하기 때문에 증착 초기에 모재와 박막 계면에서 원자 조성의 차이가 발생할 수 있어도 일단 동적 평형상태에 이르면 박막 내부에서는 각원자의 조성은 합금타겟 조성에 접근한다는 연구보고와 일치하는 결과를 보였다 [13].

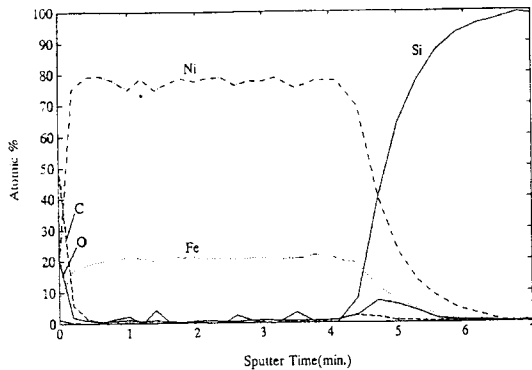


Fig. 2 AES depth profile of compositional analysis of Ni-Fe thin film deposited at 300 W, 1 mTorr and 100 °C.

400 Å으로 증착된 박막을 자장중 열처리시 열처리 온도에 따른 상변화 및 미세조직의 영향을 조사하기 위해서 XRD 분석한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 열처리 전과 후를 통해 퍼말로이 박막은 35°~80°의 2θ 범위 내에서 면심입방 결정구조의 Ni₃Fe 규칙상의 회절피크들이 (111), (200), (220)으로 각각 나타난 것으로 미루어 박막은 다결정상으로 존재함을 알 수 있었다. 열처리 온도가 증가함에 따라 특히 300 °C 이상에서 (111), (200), (220) 회절면의 반가폭이 급격히 감소하며 예리해지는 것으로 보아 박막의 결정립성장이 일어남을 알 수 있다. 또한, (111)의 회절면의 강도는 (200)와 (220)회절면에 비

해 크게 증가하는 경향을 보임에 따라 박막내부에서 결정의 우선성장은 (111)면을 따라 발생함을 알 수 있다. 즉 면심입방 구조인 퍼말로이의 조밀면은 (111) 면에서 표면에너지가 최소로 유지하는 면으로 집합조직을 형성하는 것으로 나타났다.

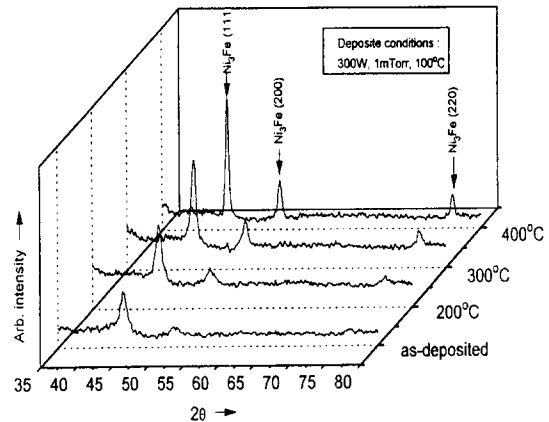


Fig. 3 X-ray diffraction patterns of Ni-Fe thin films deposited 300W, 1mTorr. and 100 °C as a function of annealing temperature in 400 Oe unidirectional magnetic field.

Fig. 4는 열처리 온도에 따른 XRD 회절 결과로부터 Scherrer 식을 통해 구한 퍼말로이의 격자상수, FWHM, 결정입자 크기를 나타낸 그림이다. 일반적인 XRD 법에 의한 박막 내부응력에 대한 정성적 분석에 따른 보고에 [14] 의하면 이상적인 평형상태에서의 퍼말로이 Ni₃Fe 규칙상 (111)면의 격자상수가 d₀ = 2.044 Å 일때 박막이 받고 있는 응력을 0 이라 고려할 수 있다. 따라서 실험에서 측정된 격자상수의 크기가 d₀ 보다 크면 탄성한도 내에서 박막의 수직방향의 간격이 늘어나 수평방향으로 압축응력을 받으며, d₀ 보다 작으면 박막의 수직방향의 간격이 줄어들어 수평방향으로 인장응력을 받는 것을 의미한다. 실험결과 열처리 온도의 증가에 따라 응력의 완화 과정을 통해 200 °C 까지 박막은 압축응력을 받으나, 300 °C 이상에서는 인장응력을 받고 있음을 알 수 있었다. 또한 열처리 온도 300 °C 까지는 FWHM은 미미하게 감소하고 결정입자 크기는 100 Å 내외였으나, 400 °C에서는 FWHM의 급격한 감소와 결정입자는 200 Å 수준으로 급격한 증가를 보였다.

Photo. 1은 열처리 온도에 따른 상변화 및 미세조직의 영향을 직접적으로 관찰하기 위해 400 Å으로 증착한 박

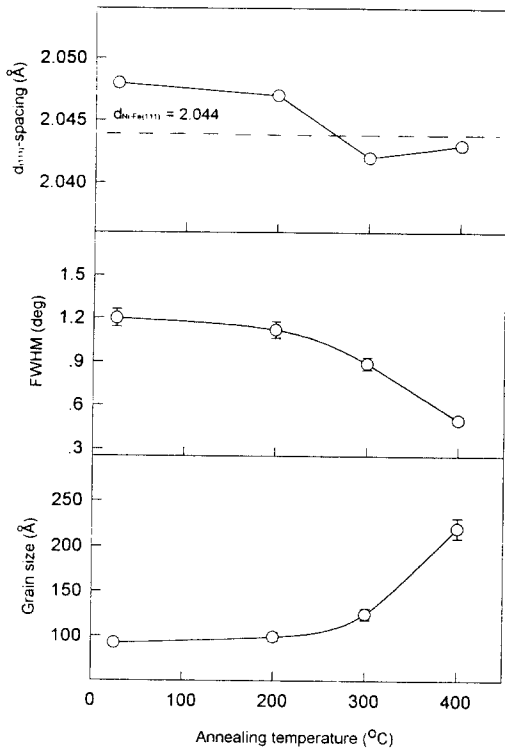


Fig. 4 Variation of d-spacing, FWHM, and grain size for Ni-Fe thin films as a function of annealing temperature in 400 Oe unidirectional magnetic field.

막을 투과전자현미경 명시야상과 암시야상 및 제한시야 회절상으로 관찰하였다. 명시야상 및 (111) 회절면에서의 암시야상으로 부터 열처리 온도가 증가함에 따라 결정립성장이 일어나고 있음을 확인할 수 있으며, 이는 XRD 회절시험에서 FWHM 값으로 계산된 결정립의 크기와 잘 일치됨을 보였다. 제한시야 회절상의 분석결과 as-deposited 상태에서 박막의 패턴은 환도형(ring pattern)으로 Ni₃Fe 규칙상과 미량의 불규칙상이 혼합된 것으로 나타났으나, 주된 환도형은 Ni₃Fe 규칙상의 (111), (200), (220), (311) 회절면임을 알 수 있었다. 열처리 온도 증가시 이들의 환도형이 더욱 명료하고, 300 °C 이상 부터 환도형이 점차 점도형화 되는 경향으로 볼 때 결정립성장이 일어남을 알 수 있고, 회절환의 강도가 증가하는 것으로 부터 미량의 Ni₃Fe 불규칙상이 규칙상으로 천이되는 것으로 판단된다. 400 °C의 경우 Ni₃Fe 규칙상 회절환의 일부 잔류하는 환도형은 박막의 열처리시 발생한 미시적인 산화에 기인된 환도형으로 판단된다. 이는 XRD 분석결과 Ni₃Fe의 (111) 면의 피크가 주로 증가하

는 것에 비해 상대적으로 (200) 및 (220) 강도의 미소한 증가현상과 잘 일치함을 알 수 있었다.

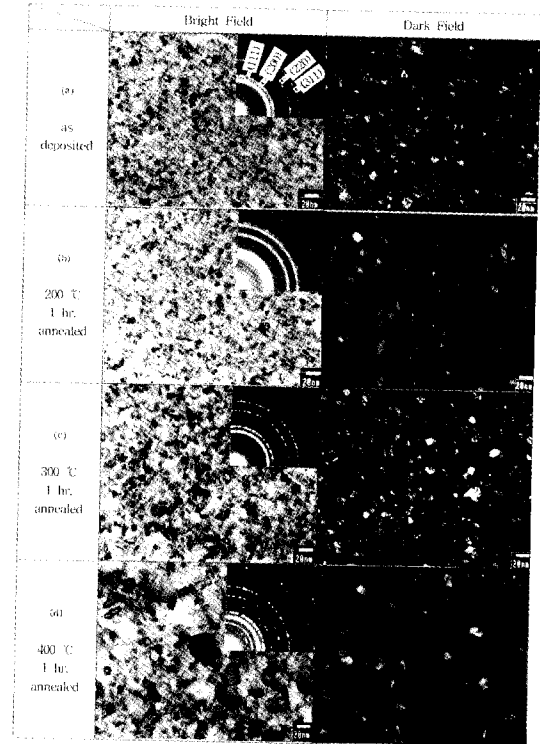


Photo. 1 TEM microstructure of Ni-Fe thin films deposited at 300 W, 1 mTorr. and 100 °C as a function of annealing temperature in 400 Oe unidirectional magnetic field.

Photo. 2는 AFM으로 열처리 온도에 따른 박막의 표면형상 및 평균 표면조도값(RMS)의 변화를 측정한 결과이다. As-deposited 상태에서 박막 표면의 결정립 형상이 미세함을 알 수 있으며, 이때 표면에서 RMS는 2.6 Å를 보였다. 200 °C 열처리시 표면에서 RMS는 2.5 Å으로 열처리전에 비해 약간 감소하였고, 표면의 결정립 형상이 미미하게 커졌음을 보였다. 이는 열처리에 의해 박막내부에 존재하는 공공, 전위와 같은 미소 결함의 감소 및 잔류응력의 완화 및 회복에 의한 것으로 판단된다. 300 °C 열처리시 표면에서 RMS는 8.7 Å으로 급격히 증가함을 보였고, 표면의 결정립 형상이 커졌음을 보였다. 400 °C 열처리시 표면의 RMS는 14 Å으로 증가하였고, 표면의 결정립 형상 및 성장방위는 특정방위로 더욱 조대하게 성장됨을 알 수 있었다. 이는 열처리 온도 증가에 의

해 결정립의 성장거동이 투과 전자현미경의 실험결과와 일치하며, XRD 결정격자면의 적분강도를 상대적으로 비교하면 주 결정성장면은 (111)로 나타났다.

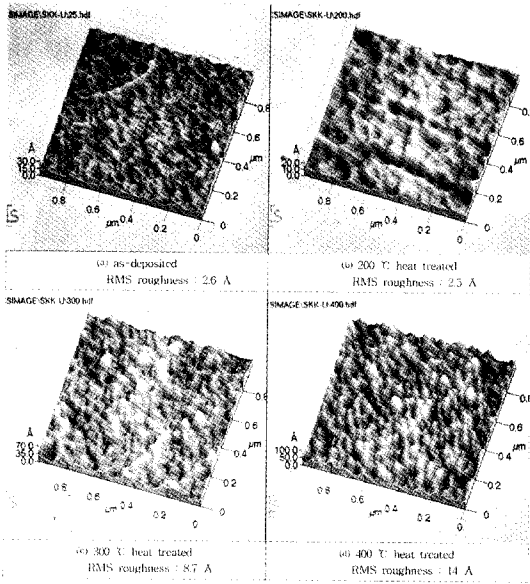


Photo. 2 AFM surface image of Ni-Fe thin films deposited at 300 W, 1 mTorr and 100 °C as a function of annealing temperature in 400 Oe unidirectional magnetic field.

자기적특성 분석은 스피터된 박막에 일축 유도 자기이방성을 부여하기 위해 자장중 열처리를 실시하여 사용하였다. 이때 시편의 in-plane으로 인가자장의 방향에 평행하게 자화용이축 그리고 수직방향으로 자화곤란축을 형성시켰다. Fig. 5는 박막의 열처리 온도에 따른 보자력과 $4\pi M_s$ 값의 변화를 나타낸 결과이다. 일방향 자장중 열처리 실시 결과 자화용이축과 자화곤란축 방향으로의 보자력 값의 차이가 뚜렷이 발생한 것으로 보아 박막내에 일축 유도 자기이방성이 형성됨을 알 수 있었고, 열처리 온도 300 °C 까지 자화곤란축의 보자력은 감소되는 경향을 보이다가 400 °C에서는 급격히 증가함을 알 수 있다. 이와 같이 자장중 열처리시 보자력의 감소와 이방성 자계가 형성되는 것은 박막내 어떤 구조변화가 thermal activation process에 의해서 일어난다고 보고되고 있다 [15]. 따라서 본 연구에서는 열처리 온도 300 °C까지는 박막 내부의 결함 및 공공의 감소에 의해 박막 구조내에서의 잔류응력이 감소되는 회복 과정과 재결정 때문에 보

자력의 감소가 일어난 것으로 판단된다. 이것은 박막구조상 표면이나 결정입계에서 공공(vacancy) 등이 많이 존재하므로 박막에서는 부피에 대한 표면이나 결정입계 면적이 크다. 따라서 치환형 고용체에서 원자나 공공의 상호교환으로 확산이 일어난다면 박막내 잔류응력 감소와 directional ordering에 기인한 원자 재배열의 변화에 [16] 의해서 생기는 현상으로 이해된다. 하지만 400 °C로 열처리했을 때 보자력이 증가한 것은 directional ordering과는 달리 온도효과에 의해 결정립이 급격히 성장하였기 때문인 것으로 나타났다. 이는 일반적으로 박막두께가 일정할 때, 결정립크기가 증가되면 박막내의 자화에 의한 결정 자기이방성의 기여가 현저하게 되며, 결정내의 자화분산각이 증대한다. 즉, 결정립크기를 D , 피말로이 박막두께를 d , 자화분산각을 α 라 하면, 이들 사이에 Hoffmann의 이론에 [17] 의해 $\alpha \propto D/d^{1/4}$ 의 관계가 성립한다. 따라서 결정립의 증대는 자화분산각을 증대시키며, 보자력(H_c)과 자화분산각은 비례관계가 성립하여 $H_c \propto D/d^{1/4}$ 의 관계가 성립된다. 본 실험의 경우 박막

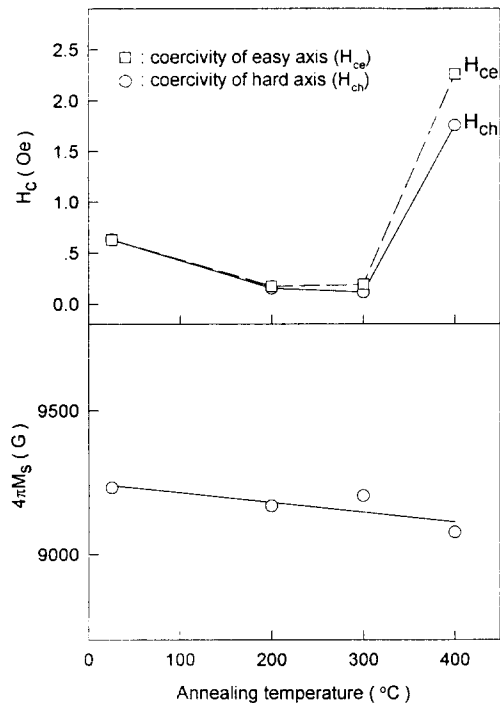


Fig. 5 Variations of coercivity and $4\pi M_s$ for Ni-Fe thin films deposited at 300 W, 1 mTorr and 100 °C as a function of annealing temperature in 400 Oe unidirectional magnetic field.

두께가 400 Å로 일정하기 때문에 400 °C로 열처리했을 때 보자력의 급격한 증가는 결정립크기의 증가에 따른 자화분산각의 증대에 기인한 것으로 판단된다.

이는 XRD 법으로 커말로이 박막의 Ni₃Fe 규칙상에 대한 격자상수의 변화에 따른 박막 내부응력에 대한 정성적 분석과 투과 전자현미경법에 의한 미세조직 관찰결과와 잘 부합되고 있다. 그리고 열처리에 따른 박막표면을 AFM으로 관찰한 결과 200 °C 열처리시 표면조도값은 미미한 감소를 나타내었고, 300 °C에서 표면의 RMS는 8.7 Å으로 증가하였음에도 불구하고 보자력의 증가를 나타내지 않은 것으로 보아 이 수준의 표면조도는 보자력의 변화에 기여효과가 크지않음을 알 수 있었다. 그러나 400 °C 열처리시 표면의 RMS는 14 Å으로 급격한 증가를 보였으며, 이는 보자력의 급격한 증가에 크게 기여한 것으로 나타났다. 이는 결정립 성장과 집합조직의 형성 방향에 따른 표면조도의 급격한 증가가 박막에서 자벽이 외부 자기장에 의해 이동하는데 장벽으로 기여하였기 때문으로 판단된다.

4π M_s 값은 열처리 온도변화에 따라 큰 변화는 일어나지 않지만 미소한 감소를 보였다. 이는 열처리된 박막 내부의 조성이 일정하기 때문에 열처리 온도의 상승에 의해 Ni 보다 상대적으로 산화력이 강한 Fe 원소의 미소적 산화에 의한 4π M_s 값의 감소로 판단된다.

Fig. 6은 증착된 박막의 열처리 온도에 따른 전기비저항, 자기저항 및 자기저항비의 변화를 각각 나타낸 것이다. 박막의 전기비저항은 전도전자들의 표면산란 즉 "size effect"에 기인해 두께가 얇아질 수록 증가한다. 이와 같이 박막 두께에 대한 전기비저항은 전도전자들의 평균자유행로(ℓ)와 박막두께(t)를 비교하여 전자는 표면에서 산란된다는 조건하에서 Fucks와 Sondheimer는 다음의 근사식을 유도하였다[18][19].

$$t \gg \ell \text{ 인 박막의 경우 아래 식 (1)로 유도되고,}$$

$$\rho = \rho_b [1 + 3/8 (\ell / t)] \dots\dots\dots(1)$$

$$t \ll \ell \text{ 인 박막의 경우 아래 식 (2)로 유도된다.}$$

$$\rho = \rho_b (4 \ell / 3t) / [\ln (\ell / t) + 0.42] \dots\dots(2)$$

여기서 ρ는 실측한 박막의 전기비저항, ρ_b는 bulk 상태의 전기비저항을 나타낸다.

실험에 사용한 박막두께는 400 Å이었고 Mitchells 등의 결과[19]인 ρ_b = 18 μΩcm, ℓ = 300 Å과 식 (1)

을 사용하면 ρ = 25 μΩcm가 기대된다. 400 °C 열처리된 박막의 경우는 전기비저항은 25 μΩcm 내외의 아주

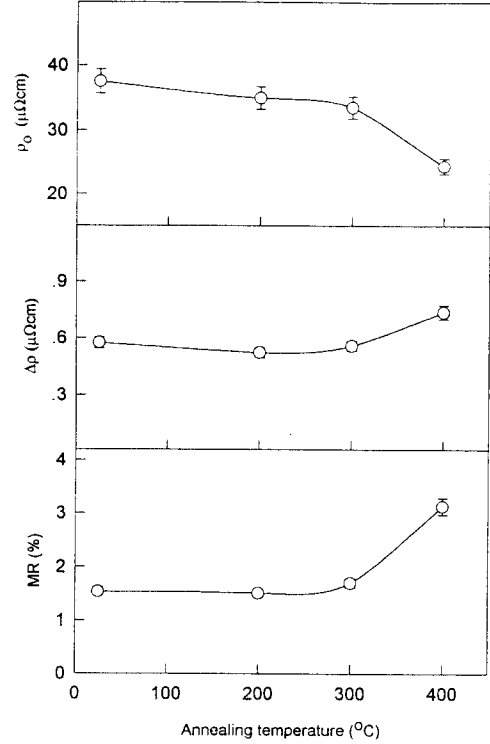


Fig. 6 Variation of resistivity (ρ₀), magnetoresistance (Δρ), and MR ratio (%) for Ni-Fe thin films as a function of annealing temperature in 400 Oe unidirectional magnetic field.

낮은 값으로 측정되었는데 이 결과는 Mitchells 등의 결과와 잘 일치한다. 그러나 실제 열처리 전과 300 °C 미만에서 열처리된 박막에서 전기비저항은 35 μΩcm 내외의 높은 값을 보였다. 이는 Photo. 1의 열처리 온도에 따른 투과 전자현미경 및 Photo. 2의 AFM 실험결과 열처리 온도의 증가에 따라 표면조도의 증가에도 불구하고 전기비저항의 값이 400 °C에서 최소값을 나타냈다. 이는 표면조도 증가에 따른 도약전자의 방해에 의한 전기비저항을 증가시키는 효과 보다는 결정립 성장에 따른 2차원 격자결함인 입계면적의 급격한 감소로 인해 전도전자의 산란효과가 감소한 것으로 나타났다. 즉, 400 °C 열처리시 박막표면을 도약하는 전도전자의 표면 산란효과가 성공적으로 억제됨으로서 벌크상태에 준하는 전기비저항을 나타낸 것으로 판단된다. 자장중 열처리시 온도증가에 따른 자기저항값의 변화 (Δρ = ρ₁ - ρ₀; ρ₀는 포화

상태에서 전류와 자장의 방향이 수직 및 수평에서의 비저항)는 $0.6 \mu\Omega\text{cm}$ 내외로 거의 일정한 값을 보였으나, 400°C 에서 약간 증가하는 경향을 보였다. 한편, 자기저항비는 열처리 온도가 증가함에 따라 전기비저항의 감소로 자기저항비는 상대적으로 증가하는 경향을 보였다. 열처리 온도에 따른 자기저항의 증가는 외부자장 인가시 교환상호작용에 의해 분리된 d 전자의 상태에서 전도전자인 s 전자가 산란되어 스핀-궤도 결합의 변화에 기인되는 것으로 알려져 있다[20], 따라서 자기저항의 미미한 변화는 자장중 열처리시 유도되는 자기이방화 효과의 정도에 기인한 것으로 이해되나, 이러한 기여에 대해서는 보다 상세한 연구가 필요하다고 판단된다. 자기저항비를 $\Delta\rho/\rho_0$ 로 나타냈을때 열처리 온도에 따라 $\Delta\rho$ 의 증가는 미미하게 변화하였으나 전기비저항의 급격한 감소로 인해 자기저항비를 상대적으로 증가시키는 원인으로 작용하였다. 따라서 본 실험에서는 400°C 로 열처리한 경우 $\Delta\rho$ 의 증가는 미미하였으나, 주된 자기저항비 증가원인은 전기비저항의 급격한 감소에 기인됨을 알 수 있었다.

Fig. 7은 증착한 박막을 자화곤란축으로 ± 50 Oe의 자기장을 인가하면서 측정한 자기저항곡선을 열처리 온도에 따라 나타낸 것이다. 이와 같은 자기저항 곡선의 형상은 향후 반도체 제조공정으로 헤드소자의 디바이스로 제작시 재생신호의 특성을 예측할 수 있는 자료로 활용할 수 있다.

일반적으로 자기저항 곡선의 선형성 및 민감도는 적절한 방법으로 바이어스되었을 때 아래와 같이 비선형화(non-linearity : NL)되는 정도 및 민감도(sensitivity value : S)를 다음 (3)과 (4)식으로 나타내어 예측한다[21].

$$NL = \frac{\{\Delta R(+5) + \Delta R(-5)\} / 2 - \Delta R(0)}{\Delta R(+5) - \Delta R(-5)} \dots (3)$$

$$S = (1/10) \times \{\Delta R(+5) + \Delta R(-5)\} / \Delta R_{max} \dots (4)$$

여기서 $\Delta R(+5)$, $\Delta R(0)$, $\Delta R(-5)$ 는 매체로부터 소자에 적용되는 자장값에 대한 자기저항변화를 정의한다.

따라서 Fig. 7의 열처리 온도변화에 따른 자기저항 곡선들에서 바이어스되어 있지 않아 식 (3)과 (4)를 이용하여 정량적인 비교는 할 수 없으나 정성적인 비교는 가능하다. 이상에서 ΔR 값의 변화가 가장 크게 나타나는 조건은 400°C 로 민감도가 우수할 것으로 예상되나, 자기이력현상이 크게 발생하므로 소자로 적용시 재생특성을 감소시키는 것으로 판단된다. 따라서 이들 곡선중 선형성

및 민감도가 우수한 값을 보여줄 것으로 예상되는 열처리 조건은 300°C 일때로 판단된다.

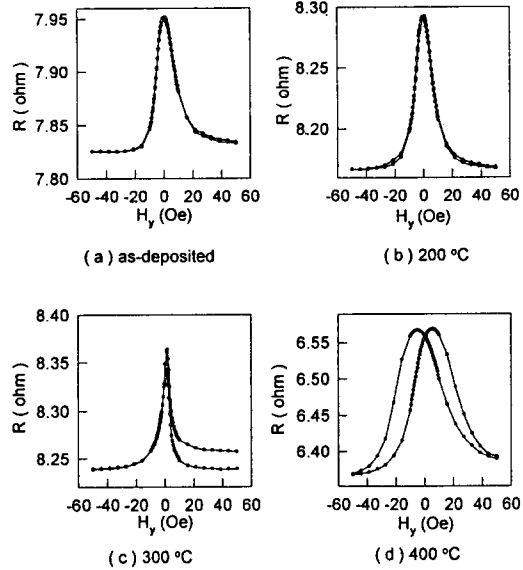


Fig. 7 Variation of hard axis MR characteristic for Ni-Fe thin films deposited at 300 W, 1 mTorr and 100°C as a function of annealing temperature in 400 Oe unidirectional magnetic field.

IV. 결 론

RF-마그네트론 스퍼터법으로 자기저항 헤드소자로 사용하기 위해 $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ (wt%) 합금타겟으로 400 \AA 두께의 퍼말로이 합금박막을 제조한 후 자장중 열처리를 실시하였다. 이때 열처리 온도변화에 따른 박막의 미세조직 및 표면구조의 변화에 따른 전자기적 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 열처리 온도가 300°C 까지 증가함에 따라 보자력은 0.5 Oe 이하의 낮은 값으로 감소하다 400°C 에서 1.5 Oe 이상으로 급격한 증가를 보였으며, 이는 박막 표면 조도의 증가 및 결정립성장에 기인한 것으로 나타났다. 또한 $4\pi M_s$ 값은 9.2 kG 수준의 일정한 값을 보였다.
2. 열처리 온도가 증가함에 따라 전기비저항은 $37 \mu\Omega\text{cm}$ 에서 $24 \mu\Omega\text{cm}$ 로 감소하였으며, 자기저항값은 0.6

$\sim 10 \mu\Omega\text{cm}$ 수준으로 거의 일정한 값을 보였고, 자기저항비는 1.5%에서 3.1%로 증가하였다. 따라서 열처리 온도의 증가에 따른 자기저항비의 증가는 주로 전기비저항의 감소에 기인하여 증가하는 경향을 보였다.

3. 박막을 자기저항 헤드소자로 응용시 열처리 온도변화에 따른 자기저항 곡선의 형상과 연자기적 성질 및 자기저항 특성을 상호 고려하면, 300 °C, 400 Oe, 1 hr. 열처리 조건에서 가장 우수한 재생신호 특성을 나타낼 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 1995년도 학술진흥재단의 신진교수과제 연구비에 의하여 연구된 결과의 일부이며 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] P. Ciureanue and H. Garrdla, Magnetic heads for digital recording, Elsevier, 455(1990).
- [2] C. Tang, M. Chen, T. Yogi, and K. Ju, IEEE Trans. Magn. **vol. 26**, 1687(1990).
- [3] C. D. Mee and E. Danial, Magnetic Recording vol. 1 Mcgraw-Hill, NY, U. S. A., (1987).
- [4] H. Takano, H. Fukaoka, M. Suzuki, and M. Kitada, IEEE Trans. Magn. **vol. 26**, 4678 (1990).
- [5] Tomasz Jagielinski, MRS. Bulletin, **vol. 3**, 36 (1990).
- [6] Hideo Tanabe and Masashiro Kitada, J. Japan Inst. Metals, **vol. 49**, 34(1985).
- [7] Hideo Tanabe and Masashiro Kitada, J. Japan Inst. Metals, **vol. 49**, 1125(1985).
- [8] James F. Freedman, IEEE Trans. Magn. **vol. 5**, 752(1969).
- [9] G. C. Chi, C. J. Mogab, A. D. Burtherus, and A. G. Lehner, J. Appl. Phys. **vol. 52**, 2439 (1981).
- [10] B. D. Cullity, Elements of X-ray Diffraction, Addison-Wesley Inc., 102(1978).
- [11] 早川茂, 和佐清孝 薄膜化技術, 共立出版, 東京, 43 (1988).
- [12] J. D. Freeman, J. Vac. Sci. Technol., A9, 421 (1991).
- [13] Brian Chapman, Glow Discharge Processes, John Wiley & Sons, 237(1980).
- [14] M. M. Yang and J. A. Aboaf, J. Appl. Phys. **vol. 66**, 3734(1989).
- [15] A. D. Butherus and S. Nakahara, IEEE Trans. Magn., **vol. 21**, 1301(1985).
- [16] S. Chikazumi and S. H. Charap, Physics of Magnetism, John Wiley & Sons, NewYork, 292(1980).
- [17] L. I. Maissel and R. Glang, Handbook of thin film technology, Mc Graw-Hill Com., 17-1 (1970).
- [18] E. H. Sondheimer, Adv. in Phys., **vol. 1**, 1 (1952).
- [19] F. C. Williams and E. N. Mitchell, Jap. J. Appl. phys., **vol. 7**, 739(1968).
- [20] T. R. McGuire, and R. I. Potter, IEEE Trans. Magn., **vol. 11**, 1018(1975).
- [21] T. Maruyama, K. Yamada, T. Tatsumi and H. Urai, IEEE Trans. Magn., **vol. 24**, 2404 (1988).

The Effect of Magnetic Field Annealing on the Structural and Electromagnetic Properties of $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ thin Films for Magnetoresistance Heads

Y. S. Kim, K. S. Lee, S. J. Suh and H. S. Park

*Department of Metallurgical Engineering, Sung Kyun Kwan University
300, Chun Chun Dong, Jangan-Ku, Suwon, 440-746, Korea*

K. C. Kim and Y. J. Song

*Department of Physics, Ajou University
5, Won Chun Dong, Paldal-Ku, Suwon, 442-749, Korea*

(Received 2 July 1996, in final form 14 September 1996)

The effects of annealing in magnetic field after deposition on electromagnetic properties of $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ thin (400\AA) films prepared by RF-magnetron sputtering were investigated in terms of microstructure and surface morphology. The coercivity of the films was decreased below $300\text{ }^\circ\text{C}$ due to stress relief and recrystallization, while increased at $400\text{ }^\circ\text{C}$ due to grain growth and increasing the surface roughness. And then, $4\pi M_s$ was almost independent of annealing temperatures. Increasing the annealing temperature, the electrical resistivity of films was decreased from $37\ \mu\Omega\text{cm}$ to $24\ \mu\Omega\text{cm}$, the magnetoresistance was nearly a constant of about $0.6\ \mu\Omega\text{cm}$, and the MR ratio was increased from 1.5% to 3.1% . Therefore, It was shown that increasing the magnetoresistive ratio was mainly affected by decreasing the electrical resistivity. Considering the practical application of the films for magnetoresistive heads, optimal annealing conditions was obtained after one hour annealing at $300\text{ }^\circ\text{C}$ in 400 Oe unidirectional magnetic field.