

## 자기저항소자의 바이어스용 $\text{Co}_{82}\text{Zr}_6\text{Mo}_{12}$ 박막의 구조 및 전자기적 특성에 미치는 자장 중 열처리의 영향

김용성 · 노재철 · 이경섭 · 서수정

성균관대학교 공과대학 금속공학과  
수원시 장안구 천천동 300, 440-746

김기출 · 송용진

이주대학교 물리학과  
수원시 팔달구 원천동 산 5, 442-749

(1998년 10월 26일 받음, 1998년 12월 8일 최종수정본 받음)

RF-마그네트론 스퍼터법으로 제조된 200~1200 Å의  $\text{Co}_{82}\text{Zr}_6\text{Mo}_{12}$  박막을 회전자장 중에서 열처리할 때 박막의 미세구조 및 표면형상의 변화에 따른 전자기적 특성을 조사하였다. 박막의 두께가 증가할 수록 보자력은 감소하는 경향을 보였으나, 포화자화 값의 변화는 나타나지 않았다. 열처리 온도가 300 °C까지 증가함에 따라 보자력은 박막내부 잔류응력의 감소 및 표면조도의 감소로 인해 감소하였고, 400 °C에서는 부분적인 결정립 성장에 의해 증가하였다. 포화자화 값은 열처리 온도 200 °C까지 변화를 보이지 않고, 300 및 400 °C에서는 7.4 kG에서 8.0 kG로 증가하였는바, 이는 박막내의 미세 Co 입자의 석출 및 성장에 기인하였다. 전기비저항은 열처리 온도가 증가함에 따라 감소하였으며, 자기저항값은 거의 0 cm에 가까운 음의 값을 보였다. 주파수 변화에 따른 박막의 유효투자율은 300 °C 열처리시 1200으로 최대값을 나타냈다. 이상에서 박막을 실제적인 자기저항 헤드의 바이어스 층으로 응용을 고려시, 최적 열처리조건은 400 Oe의 회전자장 중 300 °C에서 1시간 열처리할 때로 나타났다.

### I. 서 론

자기매체의 기록 밀도가 증가하고 매체의 운동 속도가 감소함에 따라 자기장의 시간 변화율을 감지하는 자기유도 헤드로는 기록된 신호를 재생하기가 어렵게 되었다. 따라서 기록 밀도가 증가함에 따라 출력과 해상도가 높고, 주파수 특성이 우수한 박막형 자기저항 센서의 적용이 요구되어 지고 있다. 여러 가지 형태의 자기저항(magnetoresistive : MR) 소자 중 구조가 단순하고 제작이 용이하며, 고밀도 기록매체에 대응하여 높은 분해능을 나타낼 것으로 예상되는 3층 구조의 자기저항 소자들이 검토되어지고 있다[1-3]. 이 소자는 매체의 누설자장을 감지하는 자기저항층, 자장을 차폐하는 자기분리층, 자기저항층 내의 자장을 바이어스시키는 인접연화층으로 구성된다. 이와 같은 소자는 그 크기가 수십  $\mu\text{m}$  이하의 소형이므로 제조시 반도체공정과 유사한 고도의 공정기술이 필요하며, 또한 고가의 제조설비와 원료를 사용하므로 박막소자의 설계와 제조가 주요 연구대상이 되고 있다[4-7]. 이와 같은 설계와 제조의 정확도를 높이기 위해서는 1000 Å 이하의 극히 얇은

박막 층들의 두께 및 열처리시 미세조직의 성장과정에 따른 전기 및 자기적 특성의 자세한 정보가 필요하다 [8, 9]. 특히 자기저항층의 박막 특성연구는 많이 알려져 있으나, 자기저항층 내의 자장을 바이어스시키는 인접연화층의 박막 특성에 대한 구체적인 정보가 부족하다. 따라서 이 인접연화층은 소자의 설계시 자기저항층이 최대의 출력신호와 선형화구간을 확보하기 위해 우수한 바이어스 자계를 인가하는 특성이 필요하며, 이를 위해서 우수한 연자기적 특성, 높은 전기 비저항, 낮은 자기저항비, 높은 투자율과 0에 가까운 자기변형비와 같은 여러 특성이 요구되어진다[10].

본 연구에서는 자기저항소자의 인접연화층으로 사용하는 데 적합한 전자기적 물성을 갖는 박막을 확보하기 위해 Co-ETM(early transition metal)계 합금으로 그 특성이 우수해 많이 연구되고 있는 Co-Zr-Mo의 3원 합금계 [11, 12]를 선택하였으며, 이때 합금타겟의 조성은  $\text{Co}_{82}\text{Zr}_6\text{Mo}_{12}$ (at%)로 결정하였다. 또한 실제 자기저항소자의 설계자료를 확보하기 위해 RF-마그네트론 스퍼터링 공정으로 박막두께를 200-1200 Å범위로 제조하였으며, 이때 박막의 제조두께와 열처리온도 변화

에 따른 박막의 내부 및 표면 미세구조 변화에 따른 자기적 특성에 대한 영향을 조사하였다.

### II. 실험방법

본 실험에서 사용한 스퍼터 장치는 Varian 모델 VKR12로 고주파 마그네트론 방식이며, 타겟은 위에, 기판은 아래에 설치된 down-hill sputter방식의 스퍼터 장치이다. 타겟은 미국 CERAC사의 HIP으로 제작한 합금타겟으로서 조성은  $Co_{82}Zr_6Mo_{12}$  at%, 기판은 Corning glass 7059을 사용하였고, 그 크기는 각 용도에 알맞은 크기로 제조하였다. 박막제조시 초기진공도는  $7 \times 10^{-7}$  Torr 이하로 유지하였으며, 여러 공정조건을 검토하여 기판온도 상온, 투입전력 300 W, 아르곤 압력 2 mTorr에서 기판에 60 Oe의 자계를 인가한 상태에서 증착하였다.

증착된 박막에 형성된 유도 자기이방성을 개선하기 위해서 회전자장 중 열처리를 실시하였다. 이때 열처리하는 400 Oe 자기장이 인가된 전자석 하에서 기판을 25 rpm으로 회전시켰으며, 열처리 온도는 200, 300, 400 °C로 변화시켜 회전자장 중 열처리를 1시간씩 실시하였다.

박막의 두께측정은  $\alpha$ -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 구조적거동을 스퍼터속도 110 Å/min로 에칭해 가면서 조사하였다. 박막의 구조를 조사하기 위해 XRD(Rigaku D/MAX-III)로 회절실험을 하였다. 미세조직 관찰은 투과 전자현미경(transmission electron microscopy : TEM)을, 증착된 박막의 표면구조는 비파괴적으로 직접조사하기 위해 PSI(Park Scientific Instruments)의 AFM(atomic force microscope)를 사용하여 조사하였다.

자기적 특성은 박막 증착 시 자장 인가방향에 평행한 축을 자화용이축(easy axis) 및 수직축을 자화곤란축(hard axis)으로 설정하여, 박막의 포화자속밀도 ( $4\pi M_s$ ), 보자력( $H_c$ )을 DMS사의 진동 시료형 자속계(vibrating sample magnetometer : VSM)로 측정하였다. 또한 박막의 전기 및 자기 저항값 측정을 위해서 약  $\pm 400$  Oe까지 자기장을 가할 수 있는 헬름홀츠 코일을

을 제작하였고, 전압/전류원으로 Keithley 617 programmable 전압원을 이용하여 박막시료에 약 1 mA의 전류를 흘려 측정하였으며, 전압계는 Keithley 181 nanovoltmeter로 전압을 측정하였다. 또한 AP100 power source로 전류를 조절하여 헬름홀츠 코일의 인가자장을 변화시켰다. 이때 모든 자료는 GPIB card IEEE-488.2 interface를 이용하여 개인용 컴퓨터로 제어하였다. 자성체 박막의 고주파투자율을 측정하기 위하여 진공중에서 자계에 의한 코일에 유기된 전압을 측정 후 코일중에 시료를 넣었을 때 유기된 전압을 측정하는 8자 코일법을 사용하였으며, 장치는 Ryowa Co. MMS 5000으로 측정하였다.

### III. 실험결과 및 고찰

자기저항층 내의 자장을 바이어스시키는 인접연화층 박막에서 합금조성은 소자의 자기저항, 자기변형 등의 전자기적 특성을 제어하기 위해 매우 중요한 요소로 작용하기 때문에 Co, Zr 및 Mo의 함량비 또는 박막내부의 조성 분포상태를 아는 것이 필요하다. 따라서 본 실험에서 적용한 스퍼터 공정조건에서 증착된 박막의 조성은 ICPS 분석결과 Co :  $82 \pm 0.5$  %, Zr :  $6 \pm 0.4$  % 및 Mo :  $\pm 0.1$  %로 분석되었으며, 이는 Co-ETM 합금박막에서 자기저항층의 연자기적특성에 대응할 수 있는 조성영역으로 보고되고[2, 11, 12] 있는 조성의 범위에 포함됨을 알 수 있다. Fig. 1은 내부 조성분포를 확인하기 위하여 AES로 깊이분석결과이다. 분석결과 깊이에 따라 조성의 변동이 일부 일어나고 있으며, 박막내부에 상당량의 C 및 O가 존재하고 있는 것을 알 수 있다. 이들 불순물 가스들은 합금내에서 Zr과 합체되어 박막 표면상에서 증착원자들의 운동도를 감소시키며, 박막의 미세조직에 공공과 같은 유사한 결함을 형성하여 박막의 구조적 불균일성을 유발시키는 것으로 판단된다. 이와 같은 결과는 공정변수의 변화에 따라 각각의 박막에서 구조적 불균일성에 따른 연자기적 특성에 영향을 크게 미칠 것이라는 결과를 예측할 수 있었다. 따라서 바이어스 층의 연자기적 특성을 고려한 박막의 증착공정 조건을 300 W, 2 mTorr 및 R.T로 고정하였다. 박막표면에는 산소가 비교적 많이 검출되었으나 이는 시편 분석시 대기노출에 의한 자연 산화효과로 판단되며, 박막 내부에서는 불순물이 많이 감소됨을 알 수 있었다.

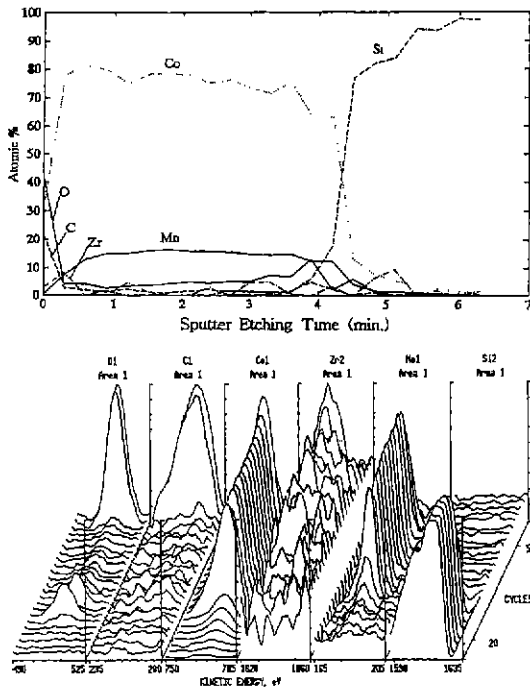


Fig. 1. AES depth profile of compositional analysis of  $\text{Co}_{82}\text{Zr}_6\text{Mo}_{12}$  thin film deposited at 300 W, 2 mTorr and R.T.

300 Å로 증착된 박막을 자장중 열처리시 열처리 온도에 따른 상변화 및 미세조직의 영향을 조사하기 위해서 XRD 분석한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 열처

리 전과 후를 통해  $\text{CoZrMo}$  합금박막의 비정질상 형성 여부를 확인하기 위하여 2θ 범위 35°~90° 걸쳐 X-선 회절시험을 실시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 열처리 온도 300 °C까지 회절각 40°~50° 에 걸쳐 전반적으로 폭이 넓은 피크형상을 하고 있는 것으로 보아 박막은 비정질상을 형성하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 400 °C로 열처리시 넓은 피크영역에서 일부 미세한 회절피크들이 부분적으로 보이나, 박막의 전체적인 상은 비정질상을 형성하고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 3은 열처리 온도에 따른 상변화 및 미세조직의 영향을 직접적으로 관찰하기 위해 300 Å로 증착한 박막을 투과전자현미경의 명시야 및 제한시아회절 상으로 관찰하였다. as-deposited 상태에서 박막은 미세한 입자와 입자를 둘러싼 계면으로 구성된 형태상 구조적인 불균일을 관찰할 수 있었으며, 이는 일반적으로 비정질의 박막제조시 Co-base에 B, Zr, Nb, Cr 등의 산화력이 강한 원소들이 함유될때 산소에 의한 산화의 영향으로 이해되어 진다. 이는 앞의 박막조성분석을 AES로 실시한 Fig 1의 결과에서 상당량의 산소가 검출된 것으로 볼 때 구조적으로 불균일한 박막의 표면이 형성된 것으로 판단된다. 200 °C로 열처리시 이러한 박막내의 잔류응력의 완화에 의한 부분적인 불균일 구조의 완화가 발생하며, 열처리 온도 300 °C에서는 부분적인 미세 결정립의 핵생성을 기점으로 불균일 구조

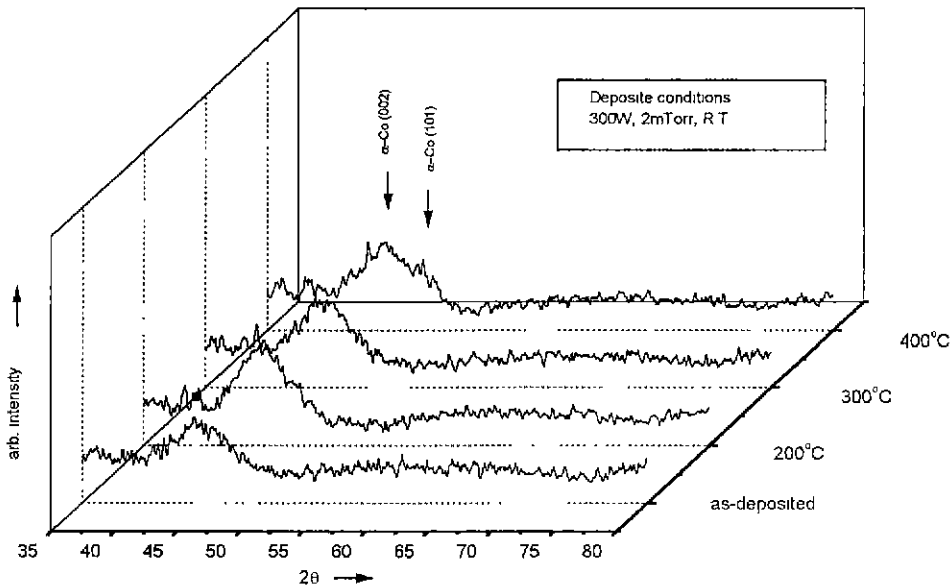
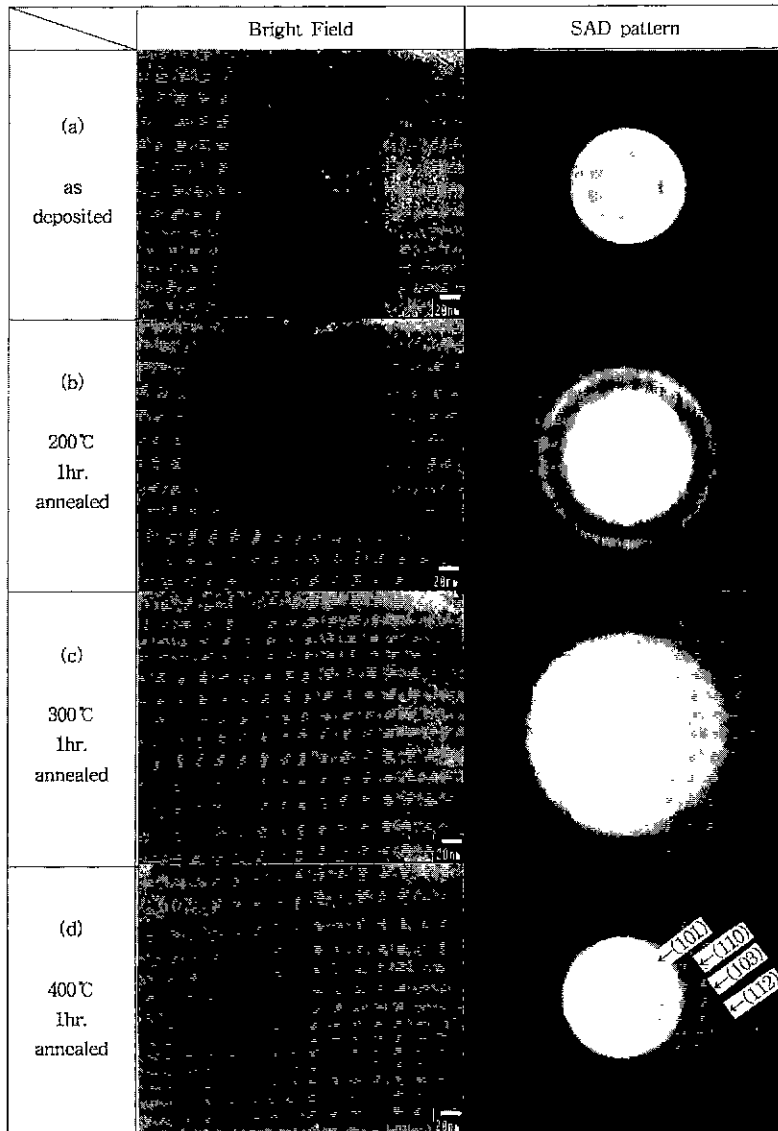


Fig. 2. X-ray diffraction patterns of  $\text{Co}_{82}\text{Zr}_6\text{Mo}_{12}$  thin films deposited 300W, 2 mTorr and R.T. as a function of annealing temperature in 400 Oe rotating magnetic field.



**Fig. 3.** TEM microstructure of  $\text{Co}_{82}\text{Zr}_6\text{Mo}_{12}$  thin films deposited at 300W, 2 mTorr and R.T. as a function of annealing temperature in 400 Oe rotating magnetic field.

의 완화를 나타내고 있다. 400 °C로 열처리의 경우 이전에 형성되었던 미세 결정립을 핵으로 부분적인 결정립성장이된 미세조직을 볼 수 있었다. 이때 이들 결정립을 중심으로 제한 시야 회절상의 실험을 실시한 결과 열처리온도 400 °C에서 환도형의 형상이 내부에는 broad화되어 있지만 외측으로 갈수록 부분적으로 뚜렷해짐을 알 수 있는데 이들 환도형의 분석결과 상온에서 HCP구조를 갖는  $\alpha\text{-Co}$ 의 (101), (110), (103), (112) 등의 결정방위를 보여주었다. 따라서 열처리온도 300

°C에서 나타난 broad화된 환도형의 회절선은 400 °C 분석결과로 볼 때  $\alpha\text{-Co}$ 구조의 미세한 결정들이 비정질상에서 부분적으로 핵생성된 것으로 판단된다. 박막의 열안정성 및 결정화과정을 조사하기 위해 15 °C/min의 가열속도로 DTA실험을 실시하였으며, 그 결과 박막의 결정화과정으로 두개의 발열반응 피크들이 381 °C와 434 °C 주변에서 각각 독립적으로 나타남을 확인할 수 있었다. 이는 투과전자현미경 실험결과를 근거로 볼 때 박막에서 1차 발열반응 피크는 불규칙구

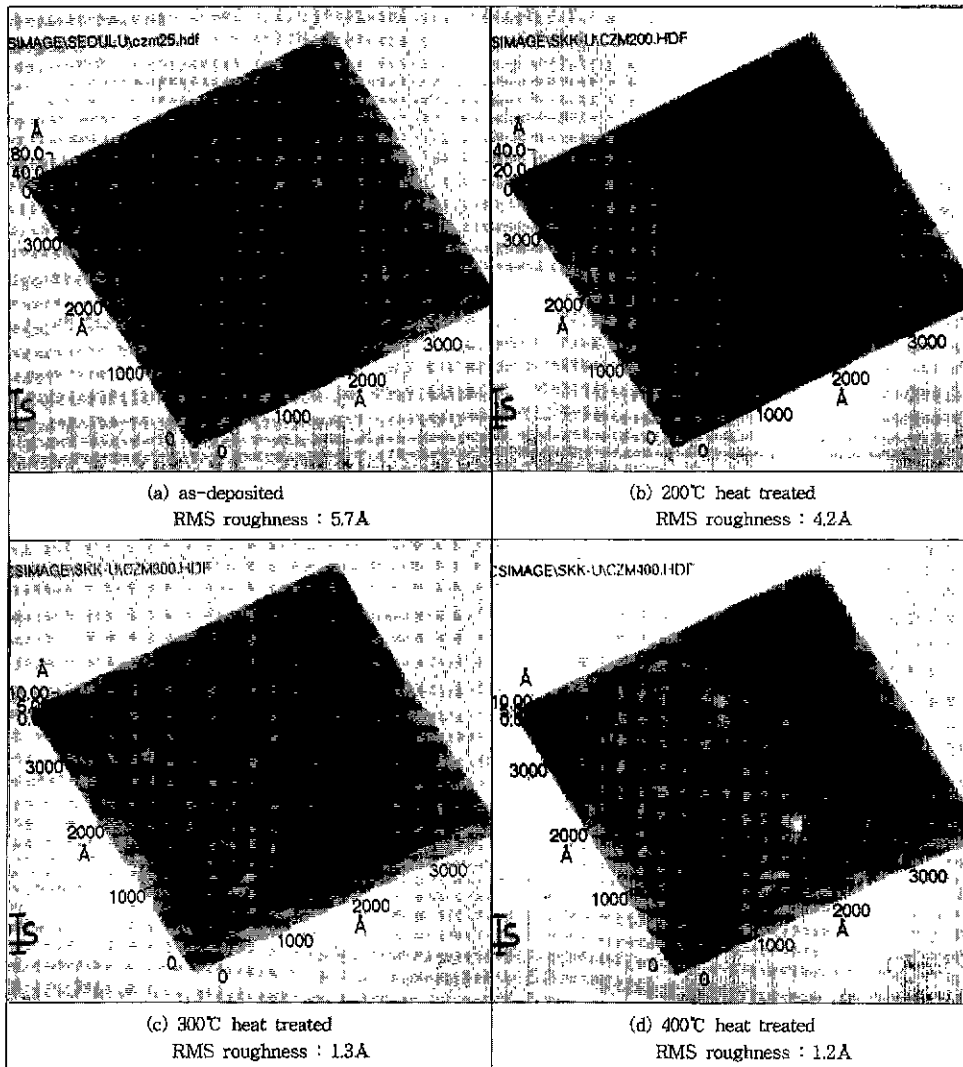


Fig. 4. AFM surface image of  $\text{Co}_{82}\text{Zr}_6\text{Mo}_{12}$  thin films deposited at 300W, 2 mTorr and R.T. as a function of annealing temperature in 400 Oe rotating magnetic field.

조의 완화 및 미세 Co입자의 석출과정이며, 2차 발열 반응 피크는 이들 미세 석출립을 핵으로 Co의 결정립 성장과정에 의해 박막이 결정화되는 것으로 사려된다.

박막의 자유표면에 대한 구조 및 형상의 고찰을 위해 AFM(Atomic Force Microscope) 실험을 실시하였다. Fig. 4는 CoZrMo합금 박막의 회전자장 중 열처리온도에 따른 AFM실험결과로 박막의 표면형상 및 표면조도의 평균값을 영상관찰과정을 통해 직접 관찰하였다.

열처리전 박막의 표면상태는 평균표면조도 값  $\text{RMS} = 5.7 \text{ \AA}$ 을 보였으며, 구조적으로 불균일한 표면형상을 가지고 있음을 알 수 있다. 이는 AES 깊이분석결

과 조성의 변동이 발생하는 원인은 박막표면의 구조적 불균일성에 기인할 것이라는 예측과 잘 일치함을 보였다.  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  열처리시 평균표면조도 값  $\text{RMS} = 4.2 \text{ \AA}$ 로 약간 감소하였으며, 이는 열처리에 의해 박막에서 잔류응력의 완화 및 회복에 의한 것으로 판단된다. 그러나  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  및  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 열처리 시 박막표면의 불균일구조는 급격히 완화되고, 평균표면조도 값  $\text{RMS} = 1.3 \text{ \AA}$  미만으로 표면상태가 균일하게 유지되고 있음을 보였다. 이는 투과전자현미경 실험을 통해 해석된 비정질상의 박막에서 미세  $\alpha$ -Co입자의 핵생성 및 성장을 통해 박막표면의 구조를 급격히 완화시키는 것과

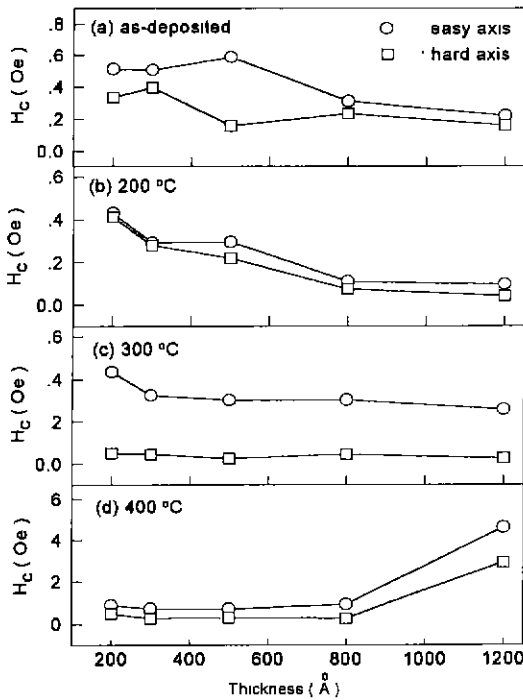


Fig. 5. Variation of coercivity for  $\text{Co}_{52}\text{Zr}_6\text{Mo}_{12}$  thin films deposited at 300 W, 2 mTorr and RT, as a function of thickness at different annealing temperature in 400 Oe rotating magnetic field.

일치하고 있다. 이상에서 AFM으로 박막표면의 형상에 대한 입체적인 관찰을 통해 앞서 실시한 투과전자현미경 실험결과들에서 추정된 박막 표면구조에 대한 3차원적 해석이 가능한 것으로 판단되었다.

Fig. 5는 각각의 회전자장 열처리온도에서  $\text{CoZrMo}$  박막의 두께변화에 따른 보자력변화를 나타낸 것으로, 박막형성시 인가된 자장에 평행한 방향으로 자화용이축 및 인가된 자장에 수직인 방향으로 자화곤란축을 형성시켰다. 열처리 전과 후를 통해 박막의 두께변화에 무관히 자화용이축 방향의 보자력은 자화곤란축의 보자력 보다 높게 나타나며, 이는 기판에 인가된 자장 방향으로 각형비의 증가에 따른 효과로 판단되어진다. 이는 박막이 증착 될 때 180 자구가 자장에 거의 평행하게 배열되었기 때문인 것으로 판단되며, 이때 자화 방향이 자화용이 축에 거의 평행하기 때문에 자화곤란축 방향으로 자화되었다가 자화반전 될 때 자화의 방향으로 회전시키는데 필요한 자계가 자화용이 축에서 반전자구의 자력을 자화값이 영이 될 때까지 이동하는데 필요한 자계 보다 작기 때문인 것으로 생각된다.

열처리전의 박막 두께변화에 따른 보자력은 두께가 증가할 수록 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 이는 동일 증착조건에서 박막의 두께가 증가하면 상대적으로 표면효과가 작아져서 자장에 의한 지구벽의 움직임이 쉬워지기 때문인 것으로 판단된다. 한편 Neel의 이론에 의해 계산된 박막의 보자력은 박막의 조도와 두께에 기인한 Bloch wall에너지의 의존성으로 표현하며, 보자력은  $H_c \propto t^{-3/4}$ 의 식으로 표현된다. 본 실험의 as-deposited의 경우 박막 두께 500 이상에서 자화용이축의 보자력은 Neel의 식에 근접하는 경향을 보이고 있으나, 반면 이 이하의 두께에 대해서는 Bloch wall이 존재하기 보다는 Neel wall이 존재하는 것으로 생각되므로 보자력의 변화는 주로 표면조도의 차이에 기인하는 것으로 보인다.

열처리온도가 증가하면 200 300 °C에서 보자력이 감소함을 보이고 있다. 이는 자장 중 열처리시 보자력의 감소와 이방성자계가 형성되는 것은 박막내 어떤 구조변화가 열 활성화과정에 의해서 일어난다고 보고되고 있다[13, 14]. 따라서 열처리온도 300 °C까지는 박막 내부의 결함 및 공공의 감소에 의해 박막 구조내에서의 잔류응력이 감소되는 회복 과정이기 때문에, 자장 중 열처리 후에 보자력 감소가 발생한 것으로 생각된다. 특히 열처리온도 300 °C에서 자화용이 및 자화곤란 축의 보자력 값의 차이가 뚜렷한 자기이방화가 나타나고 있다. 이는 투과전자현미경 실험결과 비정질 박막의 표면에 Co의 원자cluster들로 판단되는 미세입자의 석출에 의해 공공의 상호교환으로 확산이 일어나 박막내 잔류응력 감소와 증착 중 자계 인가방향으로 방향성규칙에 기인한 원자 재배열의 변화에 의해서 생기는 현상으로 이해된다. 하지만 400 °C로 열처리했을 때 보자력이 증가한 것은 Co 원자의 방향성규칙과는 달리 열적활성화 과정에 의해 Co의 미세입자를 핵으로 하여 결정립성장이 부분적으로 일어나서 박막은 주로 비정질상태를 이루나 부분적으로 조대한 결정립의 존재로 인하여 자벽운동의 역제를 유발시켜 보자력이 급격히 증가하는 것으로 판단된다.

Fig. 6은 두께 변화에 따른 포화자화값의 변화와 열처리온도에 따라서 포화자화 값의 변화를 나타내었다. 박막의 증착조건이 일정할때 두께의 증가에 따라서 포화자화 값의 변화는 거의 변화가 일어나지 않고 7.4 kG 수준으로 일정하게 유지됨을 보였다.

열처리온도 200 °C의 경우 포화자화값의 변화가 일

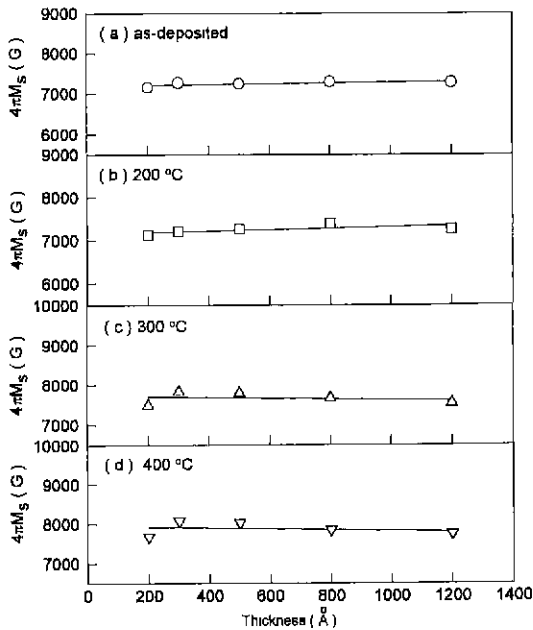


Fig. 6. Variation of  $4\pi M_s$  for  $\text{Co}_{82}\text{Zr}_6\text{Mo}_{12}$  thin films deposited at 300 W, 2 mTorr and R.T. as a function of thickness at different annealing temperature in 400 Oe rotating magnetic field.

어나지 않고, 두께변화에 따라서도 as-deposited상태와 거의 같은 수준인 7.4 kG수준을 유지하고 있다. 이 온도에서의 열처리효과는 단지 박막 내부의 결합 및 공공의 감소에 의해 박막내부의 잔류응력감소 및 구조적인 불균일성이 감소되는 회복과정으로 포화자화값에 영향을 미치지 못한 것으로 생각된다. 열처리온도 300 °C의 경우는 포화자화값이 7.8 kG수준으로 증가함을 알 수 있으며, 이는 비정질 박막내부에 Co의 원자 cluster들로 판단되는 미세입자들의 석출로 판단된다. 400 °C로 열처리시 포화자화값이 8.1 kG수준으로 증가하는 열적활성화 과정에 의해 Co의 미세입자를 핵으로 부분적으로 결정립성장이 일어났기 때문으로 판단된다.

금속재료의 박막은 비저항 값이 작기 때문에 와전류 손실이 고주파손실의 대부분을 점유하고 있으나, 페라이트와 같이 값이 큰 재료는 잔류손실이 주로 손실을 최우한다. 따라서 자기저항소자의 인접연화층으로서 요구되는 제 특성들중 와전류손실을 줄이기 위해서는 비정질의 합금박막을 제조하고 두께를 가능한한 얇게 하여 전기비저항을 높이는 것이 필요하다. Fig. 7은 비정질 합금박막의 두께변화 및 열처리 온도에 따른 전

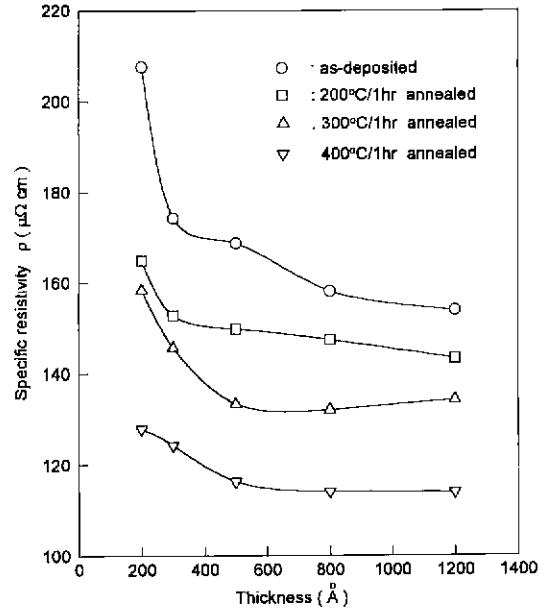


Fig. 7. Variation of specific resistivity for  $\text{Co}_{82}\text{Zr}_6\text{Mo}_{12}$  thin films deposited at 300 W, 2 mTorr and R.T. as a function of thickness and annealing temperature in 400 Oe rotating magnetic field.

기비저항의 변화를 나타내었다. as-sputtered상태의 경우 박막의 두께가 증가할 수록 비저항 값은 감소하다 800 Å 이상의 두께 부터 비저항의 변화는 거의 일정하게 나타난다. 이는 박막의 비저항은 "size effect"에 기인해 두께가 증가할 수록 표면조도의 개선으로 인해 전도전자의 표면산란효과가 감소하므로, 비저항의 변화가 거의 일정하게 유지되는 것으로 판단된다. 열처리온도가 증가함에 따라 비저항의 감소가 일어남을 알 수 있는데, 이는 200 °C 및 300 °C의 경우 비저항의 감소는 박막 내부의 결합 및 공공의 감소에 의한 구조적인 불균일성이 감소되는 회복과정에 기인하는 것으로 판단된다 400 °C로 열처리시 비저항 값의 급격한 감소는 박막내부에 부분적으로 석출된 Co의 미세입자를 핵으로하여 결정립성장에 의한 Co입자의 결정화가 일어났기 때문이다. 이는 비정질박막 내부에서 부분적으로 형성된 결정들의 내부에서 장거리질서의 형성으로 전도전자들의 산란되는 평균자유행로가 길어져서 비저항을 감소시킨 것으로 판단된다.

또한, 자기저항소자의 인접연화층으로서 요구되는 제 특성들 중 자기저항비가 낮아 0에 가까운 값을 가져야 자기저항 층과 상호간섭을 일으키지 않게 된다. 이들에서 전기비저항, 자기저항 및 자기저항 비의 변

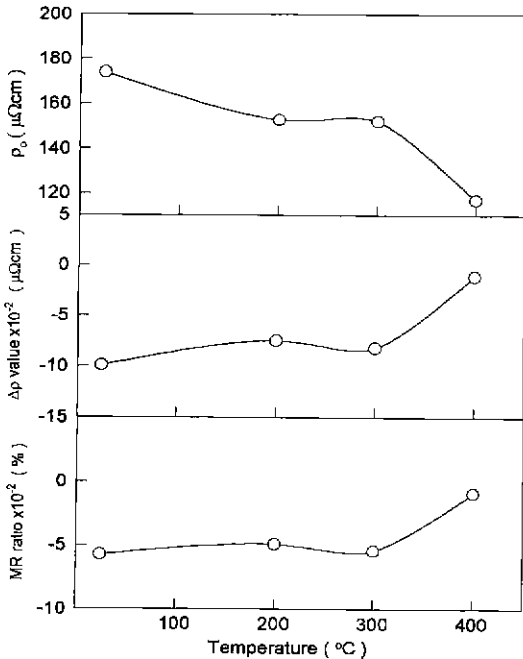


Fig. 8. Variation of specific resistivity ( $\rho_0$ ), magnetoresistance ( $\Delta\rho$ ), and MR ratio (%) for  $\text{Co}_{82}\text{Zr}_6\text{Mo}_{12}$  thin films deposited at 300 W, 2 mTorr and R.T. as a function of annealing temperature in 400 Oe rotating magnetic field.

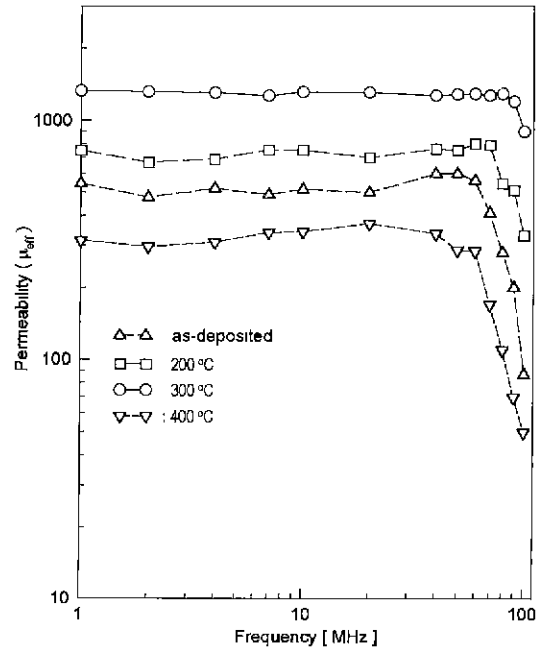


Fig. 9. Dependence of effective permeability for  $\text{Co}_{82}\text{Zr}_6\text{Mo}_{12}$  thin films deposited at 300 W, 2 mTorr and R.T. as a function of annealing temperature in 400 Oe rotating magnetic field.

화를 Fig. 8에 나타내었다. as-deposited와 열처리온도 200~300 °C까지는 자기저항 값인 가 다소 음의 값을 가지나, 열처리온도가 400 °C로 증가할 수록  $\Delta\rho$ 는 0에 접근한다. 이는 비정질 합금박막의 자기저항은 조성의 함수이며, 일반적으로 Co에 다른 ETM원소 첨가시 ETM의 종류와 함량의 증감에 따라 자기저항은 음 혹은 양의 값을 나타낸다. 이때 자기저항비의 조성의존성은 Co와 ETM원자 가전자의 차이에 의해 합금조성의 량이 결정된다는 연구[14, 15]를 바탕으로 판단할 때 열처리전의 박막조성은 자기저항비가 0%에 접근 하리라 예상되는  $\text{Co}_{82}\text{Zr}_6\text{Mo}_{12}$ 합금조성으로 제어하는 것이 필요하다. 그러나 이들 박막에서 최초의 목표조성에 양의 자기저항변화에 영향을 미치는 Zr과 음의 자기저항변화에 영향을 미치는 Co 및 Mo 함량의 제어가 목적의 조성보다 미소한 편차가 나타남으로 인하여 음의 자기저항 값을 나타낸 것으로 판단된다. 반면, 열처리온도가 300 °C 까지 증가함에 따른 자기저항의 변화는 일정하였으나, 400 °C의 경우 약간 증가하였다. 이는 박막내부의 조성이 일정하다고 가정하면, 박막내부의 비정질상이 부분적으로 결정화에 따른 효과로 판

단된다.

연자성체 자기헤드 재료의 투자율이 크면 인가되는 자장에 비해서 높은 자기유도를 일으키므로 쉽게 자화를 시킬 수 있으며, 특히 고주파영역의 신호체계를 감지하는 소자의 경우 자기이방성에 의한 보자력의 증가와 와전류손실 등으로 인해 박막의 투자율은 감소한다. 하지만 자기변형이 없는 박막의 제조와 회전 자장 열처리를 실시하면 다른 연자성재료에서 얻을 수 없는 고주파 영역에서의 높은 투자율을 기대할 수 있다. 일반적으로 자화용이축의 자화 반전기구는 저주파영역에서 자벽이동이며 자화곤란축은 자구회전에 의존한다. 따라서 주파수가 증가할 수록 자벽이동은 어려워져 고주파에서 자화용이축의 투자율은 감소하나 자화곤란축은 주파수에 민감하지 않기 때문에 고주파용 자기소자는 주로 자화곤란축을 사용한다. Fig. 9는 박막의 두께 1200 Å에서 열처리 온도변화에 따라 박막의 자화곤란축에 대해 주파수를 변화시켜가면서 투자율의 변화를 조사하였다. 열처리 전 고주파영역에서의 투자율은 60 MHz까지는 유효투자율 값이 500 수준으로 일정히 유지되나 이 이상의 영역에서 급격한 투자율의 감소를 보이고 있다. 200 °C로 열처리를 실시한



경우 고주파영역에서의 투자율은 70 MHz까지는 유효 투자율 값이 750 수준으로 일정히 유지되나 이 이상의 영역에서 급격한 투자율의 감소를 보이고 있다. 또한 300 °C로 열처리를 실시한 경우 고주파영역에서의 투자율은 90 MHz까지 유효투자율 값이 1200 이상으로 일정히 유지되며, 100 MHz까지도 급격한 투자율의 감소를 보이지 않고 900 이상의 높은 투자율 값을 유지하고 있다. 즉 열처리온도 200~300 °C로 증가할 수록 회전 자장 중 열처리를 통해 전반적으로 투자율의 증가가 나타났다. 이러한 현상은 박막의 보자력과 밀접히 관련이 있으며, 투자율은 보자력의 감소에 의해 직접적으로 증가하는 것으로 판단된다. Fig. 5의 결과에서 박막에 회전자장중 열처리시 자화용이축과 자화곤란축이 현저히 구분되는 것으로 보아 박막제조시 형성된 일축 자기이방성이 소멸되지 않고 남아 있음을 알 수 있었고, 이때 자화곤란축에서의 보자력값이 박막의 고주파 투자율값에 큰 영향을 주게된다. 따라서 열처리온도 300 °C까지는 온도의 증가에 따라 보자력의 감소가 클수록 투자율의 증가가 현저하게 일어났다. 반면 열처리온도 400 °C에서 고주파범위에서의 투자율은 50 MHz까지는 유효투자율이 300 수준으로 일정히 유지되나 이 값은 열처리전 보다 낮게 나타났다. 이는 박막에서 보자력의 급격한 증가 및 전기비저항의 감소에 따른 고주파범위에서의 와전류 손실효과로 인해 투자율의 감소가 발생한 것으로 판단된다.

#### IV. 결 론

자기저항소자의 인접연화층으로 사용하기 위해  $\text{Co}_{92}\text{Zr}_6\text{Mo}_{12}$  타겟으로 RF 마그네트론 스퍼터법으로 제조한 합금박막을 회전자장 열처리하였다. 이때 박막의 제조두께와 열처리온도 변화에 따른 박막의 내부 및 표면 미세구조 변화에 따른 전자기적 특성에 대한 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 소자에 적용 가능한 200~1200 Å 두께 범위에 대해 VSM 측정결과 두께증가에 따라 보자력은 약간 감소하는 경향을 보였으나, 포화자화 값은 두께증가에 영향을 거의 받지 않고 일정한 수준을 유지하고 있다.

2. 열처리온도가 300 °C까지 증가함에 따라 보자력은 박막내부 잔류응력 및 표면조도의 완화로 인해 감소되었으나, 400 °C에서는 부분적인 결정화로 인해 급격히 증가되었다.

3. 포화자화 값은 200 °C까지 7.4 kG 수준으로 거의 일정하게 유지되었으나, 300 및 400 °C의 경우 8 kG 수준으로 증가하였다. 이는 비정질박막 내부에서 Co 원자 cluster들의 석출 및 부분적인 결정립성장에 의한 것으로 판단된다.

4. 전기비저항은 두께증가 및 열처리온도 상승에 따라 감소되며, 이는 박막표면의 구조적 불균일성의 개선 및 미시적인 결정화로 인해 박막내부의 전자들의 평균자유행점 거리의 증가에 기인하며, 자기저항 비의 변화는 거의 나타나지 않았다.

5. 주파수 변화에 따른 유효투자율은 300 °C 회전자장 열처리시 1200으로 박막의 자화곤란축으로의 고주파특성이 가장 우수하였다.

#### 감사의 글

본 논문은 (주) 대우전자 영상매체 팀의 많은 협력에 의해 이루어 졌음에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- [1] T. Maruyama, K. Yamada, T. Tatsumi, H. Urai, *IEEE Trans. Magn.*, **24**, 2404(1988).
- [2] K. Yamada, T. Maruyama, T. Tastumi, T. Suzuki, K. Shimabayashi, Y. Motomura, M. Aoyama, H. Urai, *IEEE Trans. Magn.*, **26**, 3010(1990).
- [3] T. Maruyama, T. Suzuki, K. Yamada, K. Shimabayashi, T. Tastumi, Y. Motomura, H. Urai, *J. Appl. Phys.*, **67**, 4847(1990).
- [4] 김용성, 서수정, 송용진 외, *한국자기학회지*, **8**(4), (1998) 출판중.
- [5] S. H. Liao, S. W. Yuan and H. N. Bertram, *IEEE Trans. Magn.*, **29**, 3873(1993).
- [6] C. Tsang, *IEEE Trans. Magn.*, **25**, 3692(1989).
- [7] J. A. C. van Ooyen, W. F. Druyvesteyn, and L. Postma, *J. Appl. Phys.* **53**, 2596(1982).
- [8] 김용성, 서수정, 송용진 외, *한국자기학회지*, **6**(4), 242(1996).
- [9] 서수정, 송용진, 김용성 외, (주) 대우전자 기술연구소, 기술보고서, 211 (1996).
- [10] P. Ciureanu and S. Middelhoek, *Thin film resistive sensors*, IOP, 315 (1992).
- [11] K. Yamada, T. Maruyama, M. Ohmukai, T. Tatsumi and H. Urai, *J. Appl. Phys.* **63**, 4023(1988).
- [12] K. K. Choh, J. H. Judy and J. M. Sivertsen, *IEEE Trans. Magn.*, **23**, 2539(1987).
- [13] H. Kronmuller, *J. Appl. Phys.*, **52**, 1859(1981)
- [14] K. Shiba, S. Tsunashima, S. Uchiyama and S. Yoshino, *IEEE Trans. Magn.*, **22**, 1104(1986).
- [15] H. Fujimori, N. S. Kazama, etc., *J. Appl. Phys.*, **55**, 1769(1984).

## The Effect of Magnetic Field Annealing on the Structural and Electromagnetic Properties of Bising $\text{Co}_{82}\text{Zr}_6\text{Mo}_{12}$ Thin Films for Magnetoresistance Elements

Y. S. Kim, J. C. Ro, K. S. Lee and S. J. Suh

*Department of Metallurgical Engineering, Sungkyunkwan University  
300, Chunchun Dong, Jangan Ku, Suwon, 440-746, Korea*

K. C. Kim and Y. J. Song

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

(Received 26 October 1998, in final form 8 December 1998)

The effects of annealing in rotating magnetic field after deposition on electromagnetic properties of  $\text{Co}_{82}\text{Zr}_6\text{Mo}_{12}$  thin (200–1200 Å) films prepared by RF-magnetron sputtering were investigated in terms of microstructure and surface morphology. The coercivity decreases, but  $4\pi M_s$  does not change with increasing the film thickness. The coercivity of the films was decreased below 300 °C due to stress relief and decreasing the surface roughness, while increased at 400 °C due to partial grain growth. And then,  $4\pi M_s$  was almost independent of annealing temperatures below 200 °C, but increased from 7.4 kG to 8.0 kG at 300 °C and at 400 °C, which was caused by precipitation and growth of fine Co particles in the films. The electrical resistivity of films was decreased with increasing annealing temperatures and the magnetoresistance was a negative value of nearly 0  $\mu\Omega\text{cm}$ . After annealing at 300 °C, maximum effective permeability was 1200 to the hard axis of the thin films according to high frequency change. Considering the practical application of biasing layers of the films for magnetoresistive heads, optimal annealing conditions was obtained after one hour annealing at 300 °C in 400 Oe rotating magnetic field.