

강자성층 사이에 초연자성 NiFeCuMo 중간층을 삽입한 3층 박막구조의 자기적 특성

최종구¹ · 이상석^{1,2*}

¹상지대학교 대학원 동서의료공학과, 강원 원주시 우산동, 220-702

²상지대학교 보건과학대학 한방의료공학과, 강원 원주시 우산동, 220-702

(2010년 7월 27일 받음, 2010년 8월 20일 최종수정본 받음, 2010년 8월 20일 게재확정)

초연자성을 띠는 코네틱(Conetic; NiFeCuMo) 박막을 상호 중간층으로 강자성체인 CoFe 또는 NiFe 박막 사이에 삽입한 코닝 유리(Corning glass)/Ta(5 nm)/[CoFe or NiFe(5 nm-t/2)]/NiFeCuMo(t = 0, 4, 6, 8, 10 nm)/[CoFe or NiFe(5 nm-t/2)]/Ta(5 nm) 3층 박막구조에 대한 자기적 특성을 조사하였다. CoFe와 NiFe 박막의 자기적 특성은 박막의 두께에 따라 크게 결정되므로 자화 곤란축과 자화 용이축으로 측정된 이방성 자기저항 곡선으로부터 얻은 보자력과 자화율을 각각 비교하였다. 특히 3층 박막구조에서 NiFe 박막 사이에 자유층으로 NiFeCuMo 박막을 삽입하면 높은 자기저항비를 유지하면서 향상된 자장감응도를 유지하는 고감도 바이오센서용 거대자기저항-스핀밸브(giant magnetoresistive-spin valves; GMR-SV) 및 자기터널접합(magnetic tunnel junction; MTJ) 소자로 활용할 수 있다.

주제어 : NiFeCuMo, 상호 중간층, 보자력, 곤란축 포화자기장, 자화율

I. 서 론

연자성 재료의 박막 형태는 지난 수년간 기술적인 응용과 전자소자들의 소형화에 집중되어 혁신적으로 연구를 수행해 왔다[1-4]. 비정질 연자성 박막은 월등한 자기적 특성뿐만 아니라 자기수송 및 자기탄성에 대해서도 우수한 특성을 보여 주고 있으며, 센서 및 변환기의 부품들로 사용할 수 있다[2]. 연자성 박막과 다른 성분의 다층박막들은 전기도금법, 분자빔 에피택시법, rf 스퍼터링법, PLD법, IBD법 등 몇 가지 박막 증착기술로 제작된다[3, 4]. 자성박막에서 가장 작은 보자력을 갖추기 위해서는 초연자성 물질을 응용하는 것이 우선적으로 요구된다. 비정질 합금 자성박막은 필수적으로 작은 자기이방성과 높은 전기적 비저항을 갖는 다결정 박막 위에 명확한 이점이 존재해야 하는데, 이러한 박막의 자기적 특성은 증착 중에서의 내부응력과 표면불일치성 등 중요한 특성을 가지게 된다[5-7].

한편 생체 자기분야의 저주파수 대역에서 1 μG 이하의 미세 자기장 측정용 센서들은 초전도체 박막을 이용한 SQUID (superconducting quantum interface device)나 자속게이트 (flux gate)가 주로 사용되고 있다[4, 5]. 이러한 소자들은 구동 시스템의 부피가 크고 고가이며, 보급형으로 활용할 수가 없는 단점을 가지고 있다. 앞으로 바이오센서로 활용 가능한 작고 저렴한 1 μG 이하의 미세 자기장 측정 센서를 대체할

수 있는 박막소자의 개발이 필요하며, 오랫동안 사용되었던 퍼멀로이 박막보다 높은 연자성을 갖는 박막소자의 개발이 시급하다[6, 7]. 전자석 변압기 내에 높은 주파수의 효율을 나타내는 기존 연자성 벌크 재료의 경우에는 용이축에서 약 100 μG 정도의 보자력과 곤란축에서 약 10⁵의 자화율을 가지고 있다. 이러한 연자성 박막에서 보자력은 벌크보다 수 배~수십배로 커지고 자화율은 작아지는 특성을 가지게 된다[7].

본 연구에서는 새로운 연자성 박막에 대한 자기적 특성에 대해 코네틱 박막으로 불리어지는 NiFeCuMo 단층박막을 이온빔 스퍼터링 방법으로 증착하여 강자성체인 CoFe 또는 NiFe 박막 사이에 상호 중간층으로 삽입한 3층 박막구조에 대한 보자력과 곤란축 포화자기장 그리고 자화율을 비교하여 실험결과를 살펴보았다[6, 7]. 고감도 GMR-SV나 MTJ 소자에서 비자성층인 금속 및 산화층인 Cu 그리고 Al₂O₃ 혹은 MgO 층과 인접한 층 사이에는 반드시 기존의 강자성층을 유지해야 하므로 NiFeCuMo 박막을 강자성체인 CoFe 또는 NiFe 박막 사이에 삽입한 [CoFe or NiFe]/NiFeCuMo/[CoFe or NiFe] 3층 박막구조의 자기적 특성을 조사하였다.

II. 실험방법

박막의 모든 시료들은 Corning #7059 glass 위에 이온빔 증착(ion beam deposition; IBD) 시스템을 이용하여 상온에서 증착하였다. 6개의 3-인치 타겟이 장착된 초고진공(ultra-

*Tel: (033) 738-7961, E-mail: ssllee@sangji.ac.kr

high vacuum; UHV) 이온빔 시스템은 기본 진공도가 1×10^{-8} Torr이며, 사용한 이온 건은 직경 3 cm 탄소판 그리드 (grid)를 갖는 카프만 소스(Kaufmann source)이다[8,9]. 이온 빔 생성에 필요한 아르곤 가스 분압은 0.2 m Torr이며, 증착 율과 증착 균일도를 결정하는 가속 전압, 양극(anode)의 방전 전압, 이온빔 전압 및 전류값은 각각 120 V, 30 V, 800 V, 6.0 mA이다. 800 eV의 에너지를 갖는 아르곤-이온(Ar-ion) 빔 (beam)이 표적에 입사되고 Ta, CoFe, NiFe, NiFeCuMo 타겟의 원자가 스퍼터링 빔으로 형성되어 기판에 증착된다. 위의 증착 조건에서 Ta, CoFe, NiFe, NiFeCuMo 타겟의 증착 율은 각각 0.020 nm/s, 0.032 nm/s, 0.032 nm/s, 0.13 nm/s이다. 사용된 3인치 직경 3 mm 두께의 원판형 CoFe, NiFe, NiFeCuMo 타겟은 4 N 순도를 가지고 있으며, 원자성분비는 각각 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$, $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$, $\text{Ni}_{77}\text{Fe}_{14}\text{Cu}_5\text{Mo}_4$ 이다. 증착된 Ta, CoFe, NiFe, NiFeCuMo 단일박막을 EDS(energy dispersive spectrum)으로 분석한 결과, 불순물은 발견되지 않았고 박막과 타겟의 원자성분비는 2% 이내로 거의 일치하였다. 상온에서 증착한 모든 자성체의 시료는 증착할 때 자기장 350 Oe 크기를 갖는 영구자석을 이용하여 일축이방성을 유도하였다. 제작된 박막의 두께와 자기이력(magnetic hysteresis; MH) 곡선 및 결정성은 각각 알파 스테퍼(a-stepper)와 시료진동형 자계측정기(vibrating sample magnetometer; VSM), X-선 회절기(X-ray diffractometer; XRD)를 사용하여 조사하였고 $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 영역의 증착 범위 내에서 균일함을 확인하였다. 모든 박막의 시료는 더 이상의 이방성 유도를 위해 진공 후 열 처리는 하지 않았다. 곤란축(hard axis)과 용이축(easy axis)의 보자력(coercivity; H_{HC} , H_{EC}), 곤란축 포화자기장(saturation field of hard axis; H_{HS}) 그리고 자화율(susceptibility; χ)은 4-단자 자기저항 측정 시스템으로 얻은 자화 곤란축과 자화 용이축의 이방성 자기저항(anisotropy magnetoresistance; AMR) 곡선으로 각각 결정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

Fig. 1는 glass/Ta(5 nm)/[CoFe(10 nm), NiFe(10 nm), NiFeCuMo(10 nm)]/Ta(5 nm) 박막구조에서 기저층과 보호층인 Ta 박막 사이에 형성된 단층박막에 외부자기장을 곤란축 방향으로 인가하여 측정된 3개의 박막에 대한 AMR 곡선들이다. 즉 폭 크기가 1 mm인 4-단자에서의 전류 흐름에 대한 자기저항 곡선을 보여주고 있다. 증착할 때 그림자 마스크를 이용한 박막의 시료는 전류 방향이 곤란축과 수평이 되도록 설정하였다. 강자성체인 CoFe 박막일 경우에는 Fig. 1(a)와 같이 외부자기장이 0 Oe를 지나 ± 7.7 Oe에서 AMR 최소값을 가졌고 NiFe 박막일 경우에는 Fig. 1(b)와 같이 외부자기장이 0 Oe를 지나 ± 1.3 Oe에서 AMR 최소값을 가졌으며, 각각 두 개의 대칭인 피크값을 보였다. 또한 초연자성체인 NiFeCuMo 박막일 경우에는 Fig. 1(c)와 같이 외부자기장이 0 Oe를 지나 ± 0.4 Oe에서 AMR 최소값을 갖는 두 개의 대칭인 피크값을 보였다. 따라서 10 nm 두께를 갖는 CoFe, NiFe, NiFeCuMo 박막에서 곤란축 보자력(H_{HC})은 각각 7.7 Oe, 1.3 Oe, 0.4 Oe임을 알 수 있었다. 외부자기장을 용이축 방향으로 인가하여 측정된 AMR 곡선들은 Fig. 1에서 보여 주듯이 3개의 AMR 곡선들과 자기저항 포화값들을 수평으로 한 축에 반전된 모양으로 나타냈다. 반전된 AMR 곡선의 두 피크값으로부터 얻은 용이축 보자력(H_{HE})은 각각 7.7 Oe, 1.3 Oe, 0.4 Oe으로 동일한 값을 유지하였다.

연자성 박막에서 가장 중요한 자기적 특성은 높은 투자율(susceptibility; χ) 값에서 결정된다. MH 곡선의 선형 기울기로부터 얻을 수 있는 투자율의 동일한 값은 곤란축 AMR 곡선으로부터 측정된 포화자기장(H_{HS})을 이용하여 구하였다. 곤란축 AMR 곡선에 대응한 MH 곡선으로부터 측정된 자기모멘트로 계산된 잔류자화값(M_R)은 775 emu/cc이었다. 따라서 투자율값($\chi = M_R/H_{HS}$)에 잔류자화값(M_R)과 곤란축 포화자기

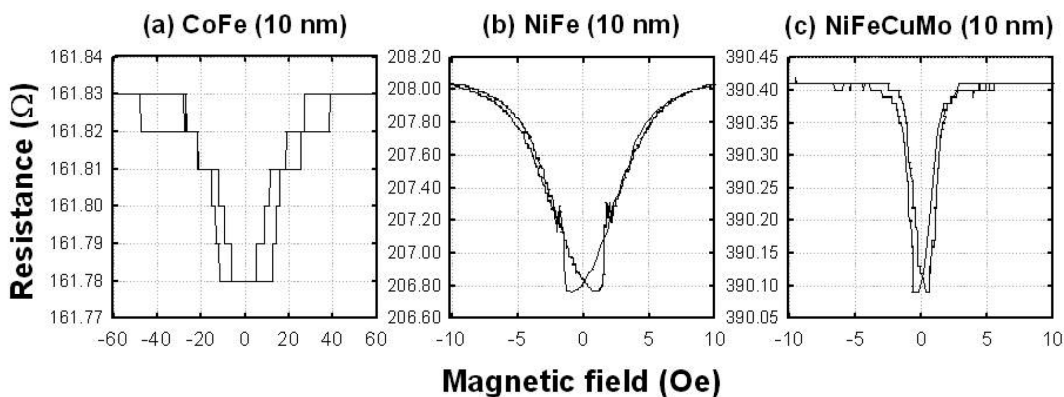


Fig. 1. Comparison of hard axis magnetoresistive properties of CoFe(10 nm), NiFe(10 nm), and NiFeCuMo(10 nm) films with a buffer Ta layer of 5 nm thickness.

Table I. Magnetic properties of three alloy CoFe, NiFe, and NiFeCuMo films

Alloy films	Thickness	H_{HS} (Hard saturation field)	H_{HC} (Hard coercivity)	H_{EC} (Easy coercivity)	R_s (Surface resistance)
CoFe	10 nm	36.5 Oe	7.5 Oe	7.5 Oe	161.8 Ω
NiFe	10 nm	6.2 Oe	1.3 Oe	1.3 Oe	207.2 Ω
NiFeCuMo	10 nm	1.3 Oe	0.4 Oe	0.4 Oe	309.4 Ω

장(H_{HS})값을 대입하면 자화율을 구할 수 있다[4-7]. 같은 두께라도 Fig. 1의 4단자 자기저항값을 살펴보면 CoFe, NiFe, NiFeCuMo 순으로 크를 알 수 있었으며, NiFeCuMo 박막의 표면저항값도 NiFe보다 2배 정도 크를 알 수 있었다. Table I는 3개의 단층 박막에 대한 자기적 특성을 나타낸 것으로 두께, 곤란축 포화자기장, 곤란축 보자력, 용이축 보자력, 표면저항값을 비교하여 각각 나열한 것이다.

초연자성을 띠는 NiFeCuMo 박막을 고감도 GMR-SV나 MTJ 소자에 적용하게 되면 다음과 같은 문제가 발생할 수 있다[4]. 비자성층인 금속 및 산화층인 Cu 그리고 Al_2O_3 혹은 MgO 층과 인접한 NiFeCuMo 박막일 경우에는 GMR-SV나 MTJ 소자의 구조에서 반강자성체와 인접한 고정층과 자유층 사이의 비자성층 혹은 절연층의 두께가 1~2 nm이면 계면거칠기는 0.3 nm 정도를 갖게 된다. 이로써 비자성층 사이를 두고 NiFeCuMo 박막은 Orange peel 효과로 인해 초연자성이 교란자기장(stray field) 효과의 범위 안에서 자유층이 가지고 있는 특성을 잃어버리게 된다[4]. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 기존의 강자성층 계면을 유지할 수 있어야 한다. 특히 NiFeCuMo 박막에서 spin polarization값은 기존 CoFe보다 작아질 것으로 예상되는데, 이러한 이유로 기존의 강자성층 계면을 유지해야 한다는 주장을 제시할 수 있으리라 사료된다.

Fig. 2는 CoFe 박막 사이에 NiFe 또는 NiFeCuMo 박막을 삽입한 3층 박막구조의 자기적 특성을 조사한 것이다. Fig.

2(a)는 glass/Ta(5 nm)/CoFe(10 nm-t/2)/[NiFe or NiFeCuMo (t = 0, 4, 6, 8, 10 nm)]/CoFe(10 nm-t/2)/Ta(5 nm) 3층 박막구조를 도시한 것이다. 여기서 자유층의 MH curve를 측정하면 3층 박막구조로 구성된 switching이 동시에 일어난다. Fig. 2(b), (c)는 CoFe 박막 사이에 삽입한 NiFe 박막과 NiFeCuMo 박막의 두께를 0 nm에서 10 nm까지 증가시켰을 때 곤란축 포화자기장과 용이축 보자력의 값이 변한 것을 나타낸 것이다. Fig. 2(b)에서 NiFe 박막의 두께가 4 nm일 때 급격히 곤란축 포화자기장값이 감소하다가 10 nm까지는 거의 6~7 Oe으로 일정한 값을 유지하였다. 반면 NiFeCuMo 박막의 곤란축 포화자기장값은 8 Oe씩 일정하게 감소하여 두께가 10 nm일 때 1.3 Oe으로 줄어들었다. 그리고 Fig. 2(c)에서 용이축 보자력(H_{EC})은 NiFeCuMo 박막의 두께가 4 nm일 때 특이하게 15 Oe의 값을 나타내었으나 6 nm에서부터는 NiFe와 유사한 경향을 보이며 0.4 Oe까지 감소하였다. 이러한 특이한 점이 존재하는 현상은 Fig. 2(b)에서 보여준 곤란축 포화자기장의 변화에서도 존재하였으므로 미세한 자기적 특성을 고찰할 필요가 있음을 암시하고 있는 것이다.

Fig. 3는 NiFe 박막 사이에 NiFeCuMo 박막을 삽입한 3층 박막구조의 자기적 특성을 조사한 것이다. Fig. 3(a)는 glass/NiFe(10 nm-t/2)/NiFeCuMo(t = 0, 4, 6, 8, 10 nm)/NiFe(10 nm-5/t) 3층 박막구조를 도시한 것이며, Fig. 3(b), (c)는 NiFe 박막 사이에 삽입한 NiFeCuMo 박막의 두께를 0 nm에서 10 nm까지 증가시켰을 때 곤란축 포화자기장과 용

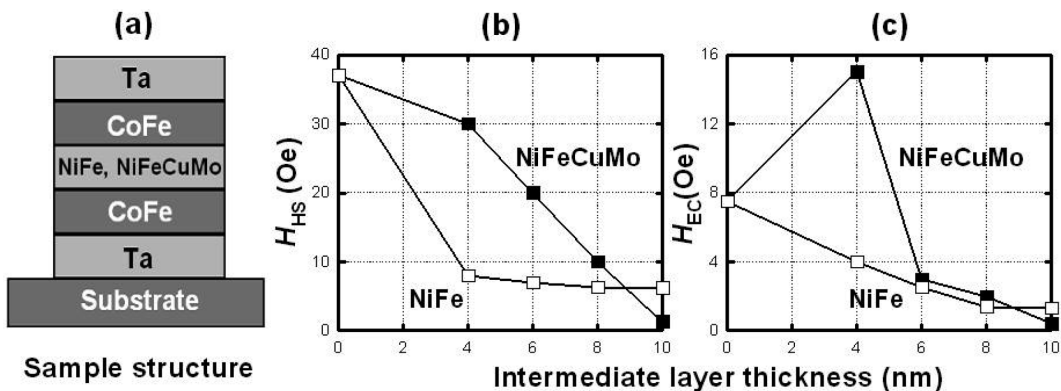


Fig. 2. (a) The sample structure, (b) the magnetic saturation field of hard axis, and (c) the coercivity of easy axis of ferromagnetic CoFe films depending on two intermediately NiFe and NiFeCuMo layers with different thickness.

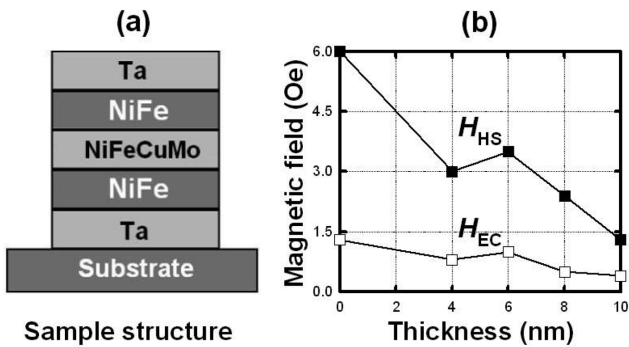


Fig. 3. (a) The sample structure and (b) the magnetic saturation field of hard axis and the coercivity of easy axis depending on one intermediately super-soft magnetic Conetic (NiFeCuMo) layers with different thickness.

이축 보자력의 값이 변한 것을 나타낸 것이다. Fig. 3(b)에서 CoFe 박막 사이에 NiFeCuMo 박막을 삽입한 3층 박막구조의 자기적 특성과 마찬가지로 NiFeCuMo 박막의 두께가 4 nm일 때 급격히 곤란축 포화자기장값이 감소하다가 6 nm에서부터는 0.5 Oe씩 일정하게 감소하였다. 용이축 보자력 (H_{EC})은 NiFeCuMo 박막의 두께가 증가함에 따라 완만하게 감소하여 0.1 Oe으로 줄어들었고 4 nm에서는 뚜렷하게 감소하였다.

Fig. 4는 glass/[CoFe or NiFe(10 nm-t/2)]/NiFeCuMo(t = 0, 4, 6, 8, 10 nm)/[CoFe or NiFe(10 nm-t/2)] 3층 박막구조의 자기적 특성을 조사한 것으로 CoFe 또는 NiFe 박막 사이에 삽입한 NiFeCuMo 박막 두께의 변화에 따른 자화율을 나타낸 것이다. Egelhoff 그룹이 처음으로 발표한 이론 및

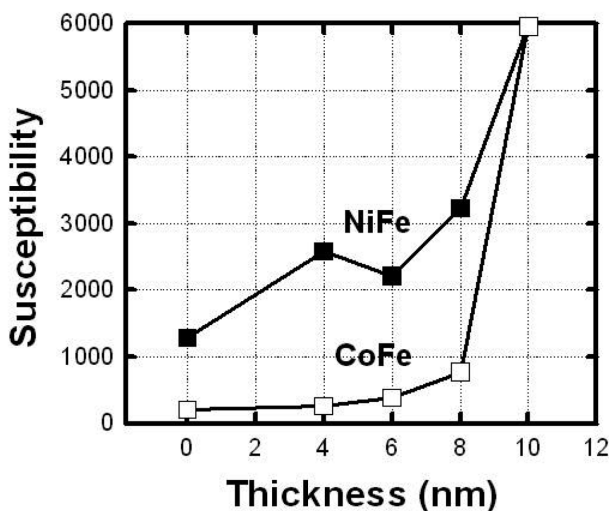


Fig. 4. The susceptibility of two ferromagnetic NiFe and CoFe films depending on one intermediately super-soft magnetic NiFeCuMo layers with different thickness.

실험결과에서 벌크나 샌드위치형 구조의 두께가 50 nm일 때 이의 보자력은 0.05 Oe이었다[4, 5]. 하지만 본 연구처럼 10 nm의 두께를 가진 박막구조에 대해 발표한 보고는 없었다. 미세한 두께를 수월하게 조절할 수 있는 IBD으로 제작한 박막 두께의 변화를 살펴보면 NiFeCuMo 박막의 두께가 0일 때 곤란축 포화자기장값으로 얻은 CoFe 박막과 NiFe 박막의 자화율값은 각각 150과 1300이었다. CoFe 박막 사이에 NiFeCuMo 박막의 두께가 4 nm, 8 nm, 10 nm으로 두꺼워질수록 자화율값은 200, 800, 6000으로 급격하게 증가하였다. 반면 NiFe 박막 사이에 NiFeCuMo 박막의 두께가 4 nm, 8 nm, 10 nm으로 두꺼워질수록 자화율값은 2500, 3200, 6000으로 점진적으로 증가하였다. 이러한 결과는 NiFe 박막 보다 상대적으로 큰 보자력을 갖는 CoFe 박막의 자기적 특성 때문으로 사료된다.

자기터널링 접합소자 구조에 자유층으로 초연자성을 띠는 NiFeCuMo 박막을 삽입하면 반강자성체와 인접한 고정층이 Al_2O_3 부도체층을 넘어 자유층 NiFeCuMo 박막에 상호결합력의 영향을 미치므로 보자력이 크게 증가하고 자화율이 크게 감소하게 된다. 이미 언급했듯이 교란자기장으로 인해 보자력을 증가시키는 Orange peel 효과의 주요인은 계면거칠기이다. Orange peel 효과를 제거하기 위해 NiFeCuMo 박막 사이에 Ru층을 둔 synthetic 구조를 형성하면 보자력은 1/10 배 정도 줄어들 수 있음을 Egelhoff 그룹은 보고하였다[4, 5]. 본 연구의 실험결과에서 자유층으로 NiFe 박막 사이에 NiFeCuMo 박막을 삽입한다면 높은 자기저항비를 유지하면서 자장감응도가 2~3배 정도 향상된 고감도 바이오센서용 GMR-SV나 MTJ 소자로 활용할 수 있다[10, 11].

IV. 결 론

초연자성을 띠는 NiFeCuMo 박막을 상호 중간층으로 강자성체인 CoFe 또는 NiFe 박막 사이에 삽입한 코닝유리 (Corning glass)/Ta(5 nm)/[CoFe or NiFe(5 nm-t/2)]/NiFeCuMo (t = 0, 4, 6, 8, 10 nm)/[CoFe or NiFe(5 nm-t/2)]/Ta(5 nm) 3층 박막구조에 대한 자기적 특성을 조사하였다. CoFe와 NiFe 박막의 자기적 특성은 박막 두께에 따라 크게 결정되므로 자화 곤란축과 자화 용이축으로 측정된 이방성 자기저항 곡선으로부터 얻은 보자력과 자화율을 각각 비교하였다. NiFe 박막 사이에 삽입한 NiFeCuMo 박막의 두께를 0 nm에서 10 nm까지 증가시켰을 때 곤란축 포화자기장값이 변하였다. CoFe 박막 사이에 NiFeCuMo 박막을 삽입했을 때도 마찬가지로 두께가 4 nm일 경우 곤란축 포화자기장값이 일부 감소하였으나 6 nm에서부터는 0.5 Oe/nm으로 감소율이 줄어들었다. 용이축 보자력(H_{EC})은 NiFeCuMo 박막의 두께가 증가함

에 따라 완만히 0.1 Oe/nm로 감소율이 줄어들었고 두께가 4 nm일 경우에는 더 뚜렷하게 감소하는 현상을 보였다. 특히 3층 박막구조에서 NiFe 박막 사이에 자유층으로 NiFeCuMo 박막을 삽입하면 높은 자기저항비를 유지하면서 향상된 자장 감응도를 유지하는 고감도 바이오센서용 GMR-SV 및 MTJ 소자로 활용할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2009~2010년도 상지대학교 교내연구비의 지원을 받아 수행된 연구결과임.

참고문헌

- [1] F. E. Luborsky, P. G. Frischmann, and L. A. Johnson, *J. Magn. Mater.* **19**, 103 (1980).
- [2] M. Hayakawa, *J. Magn. Mater.* **134**, 287 (1994).
- [3] P. Sharma and A. Gupta, *J. Magn. Mater.* **288**, 347 (2005).
- [4] W. F. Egelhoff Jr., R. D. McMichael, C. L. Dennis, M. D. Stiles, F. Johnson, A. J. Shapiro, B. B. Maranville, and C. J. Popwell, *Thin Solid Films* **505**, 90 (2006).
- [5] J. G. Choi, D. G. Hwang, J. R. Rhee, and S. S. Lee, *J. Magn. Mater.* **322**, 2191 (2010).
- [6] J. G. Choi, D. G. Hwang, S. S. Lee, J. H. Choi, K. A. Lee, and J. R. Rhee, *J. Kor. Magn. Soc.* **19**, 197 (2009).
- [7] J. G. Choi, D. G. Hwang, S. S. Lee, and J. R. Rhee, *J. Kor. Magn. Soc.* **19**, 142 (2009).
- [8] S. S. Lee and D. G. Hwang, *J. Magnetism* **15**, 17 (2010).
- [9] S. S. Lee, B. Y. Kim, J. Y. Lee, D. G. Hwang, S. W. Kim, M. Y. Kim, J. Y. Hwang, and J. R. Rhee, *J. Appl. Phys.* **95**, 7525 (2004).
- [10] D. W. Kim, J. H. Lee, M. J. Kim, and S. S. Lee, *J. Magnetism* **14**, 80 (2009).
- [11] W. H. Lee, D. G. Hwang, and S. S. Lee, *J. Magnetism* **14**, 18 (2009).

Magnetic Properties of Three-layered Ferromagnetic Films with a NiFeCuMo Intermediately Super-soft Magnetic Layer

Jong-Gu Choi¹ and Sang-Suk Lee^{1,2*}

¹Dept. of Eastern-western Biomedical Engineering, Graduate School, Sangji University, Wonju 220-702, Korea

²Dept. of Oriental Biomedical Engineering, Sangji University, Wonju 220-702, Korea

(Received 27 July 2010, Received 20 August 2010, Accepted 20 August 2010)

Two-layered ferromagnetic alloy films (NiFe, CoFe) with a Conetic (NiFeCuMo) intermediately soft magnetic layer of different thickness were investigated to correlate the coercivity values and magnetization process with the strength of saturation field of hard axis. Thickness dependence of the H_{EC} (coercivity of easy axis), H_{HS} (saturation field of hard axis.), and χ (susceptibility) of NiFe and NiFeCuMo thin films for the glass/Ta(5 nm)/[CoFe or NiFe(5 nm-t/2)]/NiFeCuMo(t = 0, 4, 6, 8, 10 nm)/[CoFe or NiFe(5 nm-t/2)]/Ta(5 nm) films prepared by the ion beam deposition method was measured. The magnetic properties H_{EC} , H_{HS} , and χ of two-layered ferromagnetic CoFe, NiFe films with a NiFeCuMo intermediately super-soft magnetic layer were strongly depended on the thickness of NiFeCuMo layer. The value of the coercivity and magnetic susceptibility of the NiFeCuMo film decreased by 25 % and doubled relative to that of the NiFe film.

Keywords : NiFeCuMo, intermediate layer, coercivity, saturation magnetic field of hard axis, susceptibility