

스파터링 조건이 FeMn계 top 스핀 밸브의 exchange bias 및 자기적 특성에 미치는 영향

김광윤 · 신경호 · 한석희 · 임상호 · 김희중

한국과학기술연구원 박막기술연구센터, 서울시 성북구 하월곡동 39-1

장성호 · 강 탁

서울대학교 재료공학부, 서울시 관악구 신림동 산 56-1

(2000년 4월 1일 받음, 2000년 4월 20일 최종수정본 받음)

6개의 타겟을 가진 직류 마그네트론 방식을 이용하여 스파터링 전력 및 압력을 변화시켜 Si/Ta(50 Å)/NiFe(60 Å)/CoFe(20 Å)/Cu(26 Å)/CoFe(40 Å)/FeMn(150 Å)/Ta(50 Å) 스핀 밸브 박막을 제조하여 교환자기이방성 및 자기적 특성을 조사하였다. FeMn 층의 증착시 스파터링 전력을 증가시킴으로써 교환이방성을 증가시킬 수 있었으며, X선 회절 실험결과 스파터링 전력 증가에 따른 교환이방성의 증가는 FeMn (111)면의 우선성장 발달에 기인하는 것으로 판단되었다. 강자성상을 사이에 두고 있는 Cu의 스파터링 압력을 1.5 mTorr 증가시 교환이방성이 급격히 감소하며, 자기저항비 및 자장민감도도 감소하였다. Si/Ta/NiFe/CoFe/Cu(t), 30 W/CoFe, 100 W/FeMn, 100 W/Ta 스핀 밸브에서 Cu 두께를 22-38 Å까지 변화시켜 자기저항비를 조사한 결과 Cu의 두께가 22 Å일 때 자기저항비 6.5%까지 얻을 수 있었으며, Cu 두께를 감소시켜 교환이방성을 증가시킬 수 있었다. 이와 같은 Cu 두께 감소에 따른 교환이방성의 증가는 FM-AFM 스핀-스핀 상호작용에 의하여 설명하였다.

I. 서 론

최근 IBM에서 발표한 40, 70 Gbyte 하드디스크 드라이브는[1] 기존의 기록밀도보다 매우 큰 용량을 나타내고 있는데 이와 같은 고밀도 기록을 가능하게 한 가장 핵심적인 기술은 기존의 MR헤드를 대체한 거대자기저항형 헤드를 채택하고 있다는 것이다. 일반적으로 자기헤드재료에 요구되는 특성은 높은 자기저항비 및 높은 자기감도, 그리고 매체에서 발생하는 누설자속을 감지하기 위한 낮은 포화자장이다. 이러한 요구조건을 만족하는 거대자기저항형 구조는 exchange-bias형 스핀밸브 구조이다. exchange-bias형 스핀밸브구조는 두강자성층이 비자성층을 사이에 두고 있는 점에서는 샌드위치형 스핀밸브와 동일하나 두강자성층 중 한 강자성층을 반강자성층에 의해 고착시키고 나머지 자성층은 자유층을 이루게 하여 자장 방향에 따라 두 자성층간의 자화배열을 반평형상태, 평형상태로 제어하여 두자성층의 자화 방향에 따라 자기저항값을 변화시킬 수 있는 장점이 있다. 이러한 exchange-bias형 스핀밸브 구조에서 가장 주목해야 할 점은 한 강자성층을 반강자성층과 계면에서의 교환결합에 의해 자성층의 이력곡선을 원점으로 부터 일정한 크기로 이동시키는 것이다. 그러므로 exchange-bias형 스핀밸브구조는 높은

자기저항비를 얻기 위해서 자유층의 포화를 위한 자장만 필요하므로 포화자기장을 감소시켜 자기헤드에 응용할 수 있는 장점을 가지고 있다.

Exchange-bias형 스핀밸브 구조가 개발된 이래로 교환이방성의 연구는 대부분 두 방향으로 진행되고있다. 첫째는 자기헤드에 적용하기 위한 강한 교환결합력, 높은 blocking 온도 그리고 내식성이 좋은 반강자성층을 개발하는 것이며[2-4], 둘째는 반강자성/강자성 혹은 강자성/반강자성의 bilayer을 제조하여 계면에서의 교환이방성의 기구를 조사하고 기판구조 및 buffer layer의 종류에 따른 반강자성층과 강자성층의 계면구조의 변화에 따른 교환이방성의 크기를 조사하는 기초적인 연구결과가 대부분 이었다[5-8]. 반면에 자기헤드에 사용되는 exchange-bias형 스핀밸브 구조를 직접 제조하여 제조조건에 따른 교환이방성의 효과를 조사한 연구결과는 많지 않다. 실제 head에 사용되는 스핀 밸브는 top 스핀밸브의 형태를 가지고 있으므로, 이때의 제조조건에 따른 exchange-bias 효과를 조사하는 것이 매우 중요하다.

본 연구에서는 Ta/NiFe/CoFe/Cu/CoFe/FeMn/Ta의 스핀밸브 구조에서 Cu층 아래에 있는 Ta/NiFe/CoFe의 제조조건은 일정하게 한 후(즉 기판의 영향을 최대한 억제함) Cu, CoFe, FeMn의 공정변수만을 변화시켜

exchange-bias 효과 및 전도특성을 조사하였다.

II. 실험방법

2인치 크기의 6개의 타겟을 가진 직류 마그네트론 스파터링 방식으로 Ta/Ni₈₁Fe₁₉/Co₈₄Fe₁₆/Cu/Co₈₄Fe₁₆/Fe₅₀Mn₅₀/Ta 스핀 밸브 박막을 자연 산화막을 가진 Si(100) 기판위에 제조하였다. 스파터링 장비의 초기 진공도는 6×10⁻⁷ torr 정도였으며, 타겟과 기판 거리는 10 cm로 고정하여 증착속도를 최대한 낮추었다. 한편 각 물질의 증착속도는 전력과 분압을 변화시켜 0.5~2.5 Å/sec로 조절하였으며, 자성층에 유도자기 이방성의 형성 및 교환자기이방성을 형성시키기 위하여 영구자석을 이용하여 증착 중에 300 Oe을 자장을 인가하였다.

기판의 세척은 클로로 포름으로 초음파 세척하여 기판에 부착된 wax 종류를 우선 제거하였으며, 그 후 아세톤에 초음파 세척하여 클로로포름에서 제거되지 않은 유기 물질을 제거하였고, 다음 알콜계 용매를 사용하여 아세톤류를 제거하여 기판 클리닝을 하였다.

본 연구에서 설계한 Si/Ta/NiFe/CoFe/Cu/CoFe/FeMn/Ta의 스핀밸브 박막 증착시 스파터링 압력은 1 mTorr로 고정하였으나, Cu 층의 계면 거칠기를 변화시키기 위하여 Cu의 스파터링 압력만을 1, 3, 5 mTorr 까지 변화시켰으며 CoFe, FeMn의 경우 증착 전력을 변화시켜 스핀 밸브 박막의 자기저항 및 교환이방성의 변화를 조사하였다. 제조된 스핀밸브 박막의 자기적 특성은 진동 시편 자력계 (Vibrating Sample Magnetometer)을 사용하여 측정하였고, 박막의 전도특성은 직류 4단자 탐침법으로 상온에서 측정하였으며, 이때 전류와 자장방향은 서로 수직하게 하였다. 박막의 전도특성의 측정을 위하여 저 자장하에서는 Helmholtz 코일을 제작하여 사용하였으며, 포화된 곡선을 얻기 위해서는 15 kOe을 자장을 인가할 수 있는 VSM에 부착된 전자석을 사용하여 R-H 곡선을 측정하였다. 제조된 스핀밸브 박막의 교환 자기이방성(H_{ex})은 M-H 곡선으로부터 구하였다. Cu층의 스파터링 압력 변화에 따른 교환자기이방성의 세기의 변화 및 FeMn, CoFe층의 전력 변화에 따른 교환자기이방성에 미치는 미세구조의 영향을 조사하기 위하여 XRD 분석을 행하였다.

III. 실험결과 및 고찰

6% 이상의 자기저항비를 얻기 위해서는 적절한 스핀밸브

박막 구조의 설계가 매우 중요한 일이다. 본 연구에서는 Si기판 위에 Ta(50 Å)/NiFe(60 Å)/CoFe(20 Å)/Cu(26 Å)/CoFe(40 Å)/FeMn(150 Å)/Ta(50 Å)의 두께를 가진 스핀밸브 박막을 고안하였다. 높은 자기저항비를 얻기 위해서는 자유층이 두 자성층으로 형성되어야 하므로 본 연구에서는 NiFe/CoFe를 선택하였다. NiFe/Cu/NiFe 스핀 밸브 박막은 NiFe와 Cu 사이의 계면에서 확산 반응이 있어 계면에서의 dead zone이 확장되는 것으로 보고되고[9] 있어 NiFe 층에 CoFe를 증착하여 NiFe가 직접 Cu와 반응하는 것을 방지하였다. 또한 CoFe를 단독으로 사용시 즉 CoFe/Cu/CoFe 같은 스핀 밸브에서는 CoFe의 조직을 (111) 우선방위를 형성하기 어려운 것으로 알려져 있으며 [10], 또한 자기적 특성 또한 열악한 것으로 보고되고 있다. 반면에 NiFe 층에 CoFe를 형성할 시 (111) texture의 형성이 매우 유리한 것으로 보고되고 있다[11]. 이러한 구조적, 자기적 특성을 고려하여 자유층에 NiFe/CoFe의 이중층을 사용하였으며, Cu와 상호확산이 작은 CoFe 합금을 선택하였다. 또한 구속층에 CoFe를 사용할시 CoFe의 자속밀도가 NiFe 보다 높기 때문에 두께를 감소시켜 FeMn과의 계면에서 교환자기이방성을 증가시킬 수 있다는 것이 CoFe를 선택한 다른 이유이다. 자유층으로 사용되고 있는 NiFe의 두께는 60 Å, CoFe의 두께 20 Å으로 정한 이유는 구속층의 반자장이 자유층에 미치지 않는 영역내에서 최대의 두께를 선정하였다. Si 기판위에 직접 증착되는 buffer 층으로 Ta를 사용하였으며, 또한 스핀밸브 박막 제조 후 보호층도 Ta를 사용하였다. 반강자성 층으로는 현재 실제 헤드에는 적용되지 않고 있지만 학문적으로 많이 사용되고 있는 FeMn을 선택하였다.

Fig. 1은 Si 위에 증착한 Ta(50 Å)/NiFe(60 Å)/CoFe(20 Å)/Cu(26 Å)/CoFe(40 Å)/FeMn(150 Å)/Ta(50 Å) top 스핀밸브 구조에서 FeMn 증착시 스파터링 전력 변화에 따른 CoFe/FeMn 계면에서 발생한 교환 이방성의 세기를 나타낸 것이다. 이 때 FeMn 층을 제외한 다른 모든 층의 증착조건은 동일한 1 mTorr 스파터링 압력과 각 층에 적합한 스파터링 전력(하지만 동일한 조건)을 인가하였다. FeMn의 스파터링 전력을 50 W에서 150 W 까지 증가함에 따라 교환 이방성이 80 Oe에서 160 Oe 이상 증가하였다. 스파터링 전력 증가에 따른 교환 이방성의 증가에 대한 원인을 규명하기 위하여 각 시료의 X-선 분석을 하였으며 그 결과를 Fig. 2(a)에 나타내었다. 또한 이 결과를 사용하여 스파터링 전력에 따른 회절강도의 변화 및 반가폭의 변화를 Fig. 2(b), (c)에 나타내었다. Fig. 2(b)에서

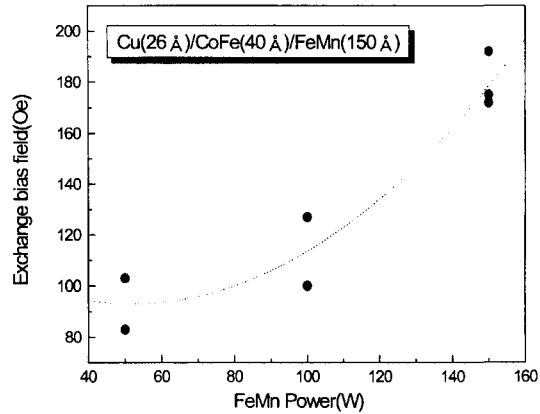


Fig. 1. The change of exchange bias field with FeMn-sputtering power for the Si/Ta/NiFe/CoFe/Cu/CoFe/FeMn/Ta top spin valve structures.

보는 바와 같이 FeMn 증착시 스파터링 전력을 증가시키면 따라 회절 강도가 크게 증가하며, 반면에 Full Width Half Maximum은 감소하고 있다 (Fig. 2(c)). 일반적으로 FeMn이 상온에서 반강자성 특성을 가지기 위하여 FCC (111) 구조를 가지는 것이 유리 한 것으로 알려져 있다 [12]. Fig. 2(a)의 XRD 결과는 본 연구에서 제조한 FeMn 층이 (111) γ -FeMn을 형성하고 있으나, 낮은 스파터링 전력에서는 peak의 강도도 낮고, 주피크의 위치가 오른쪽으로 약간 이동한 것으로 보아 구조적 변화가 있으며 그에 따라 교환 이방성의 세기도 감소함을 알 수 있다. 반면에 FeMn 증착시 스파터링 전력을 증가시키면 교환 이방성의 세기가 증가하는 것은 X-선 회절 결과에 비추어 (111) γ -FeMn의 우선성장에 기인하는 것이라고 판단된다. 이와 같은 결과는 반강자성물질이 single orientation으로 성장할 때 texture의 증가에 따라 교환이방성의 세기도 증가한다는 결과와 잘 일치하고 있다[13]. 또한 Fig. 2(c)에서는 전력이 증가할수록 (111) 피크의 반값폭이 작아지는 경향을 보여주고 있는데 이러한 반값폭의 감소는 결정립 크기의 증가(sherrer 방정식의 사용)를 나타내고 있다. 따라서 FeMn 증착시 스파터링 전력의 증가에 의한 결정립 크기의 증가가 교환이방성 세기의 증가에 또 다른 요인임을 알 수 있다.

앞의 결과를 근거로 Si/Ta/NiFe/CoFe/Cu/CoFe/FeMn/Ta 스핀밸브 구조에서 교환이방성이 가장 큰 FeMn의 스파터링 전력을 150 W로 고정한 다음 FeMn층과 이웃한 CoFe의 증착전력을 30 W에서 150 W 까지 변화시키면서 교환이방성의 변화를 조사하였고 그 결과를 Fig. 3(a)에

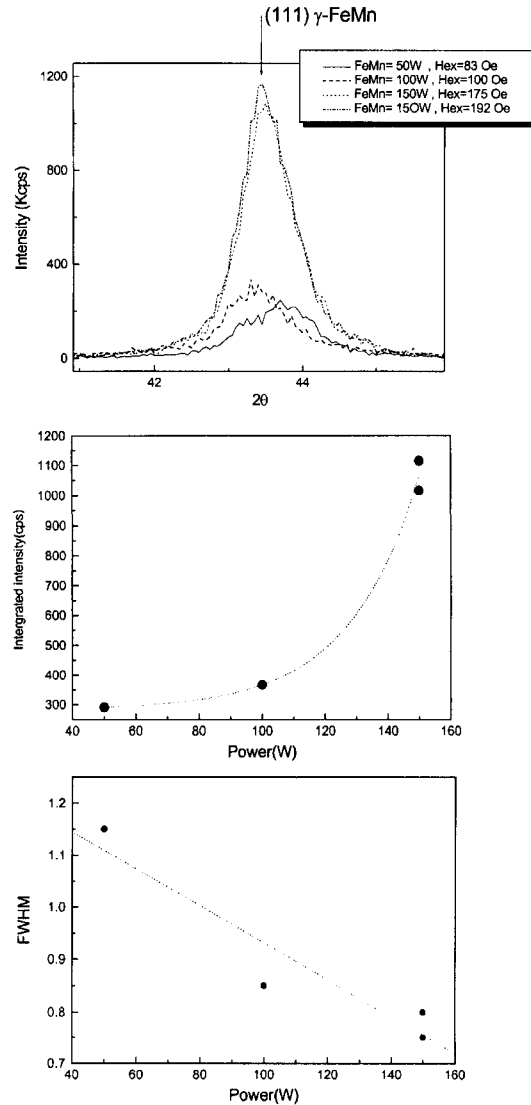


Fig. 2. (a) X-ray diffraction patterns of the spin valves with FeMn pinning layer sputtered by different power conditions, (b) Relationship between X-ray diffraction integrated intensity of (111) γ -FeMn plane and FeMn sputtering power, (c) Relationship between the X-ray diffraction peak FWHM(full width of half maximum) of (111) γ -FeMn plane and the FeMn sputtering power.

나타내었다. CoFe의 증착전력을 30 W에서 100 W까지증가시 H_{ex} 가 완전히 증가하다가 150 W에서 급격히 감소하였다. 이와 같은 원인을 조사하기 위하여 각 시료의 X-선 회절 분석을 하였고 그 결과를 Fig. 3(b)에 나타내었다. CoFe의 전력이 증가하면서 100 W까지는 (111) γ -FeMn의 높은 회절강도를 유지하다가 150 W로 스파터링 전력

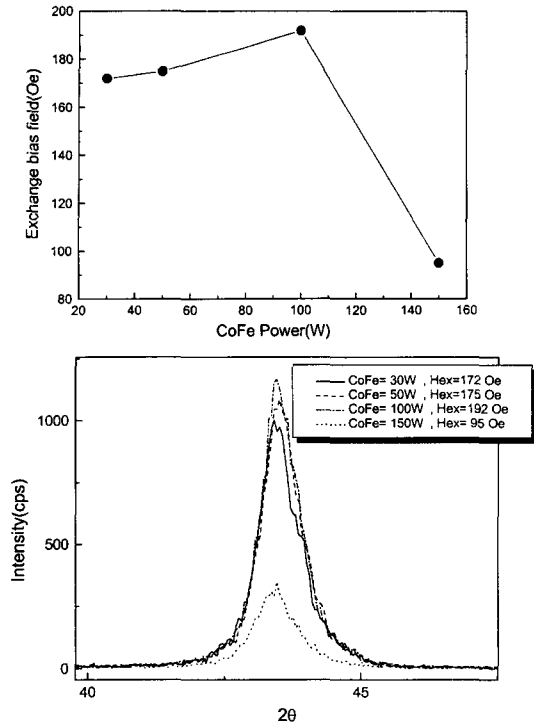


Fig. 3. (a) The change of the exchange bias field as a function of CoFe sputtering power for Si/Ta/NiFe/CoFe/Cu/CoFe/FeMn/Ta the top spin valve structures, (b) X-ray diffraction patterns of the spin valves with different CoFe-sputtering power for the spin valve samples with the same power (150 W) of FeMn layer.

을 증가시 회전 강도가 급격히 감소함을 알 수 있다. 그러므로 150 W 전력증가에 따른 교환 이방성 세기의 급격한 감소는 FeMn (111) 면의 우선성장 발달의 감소에 기인하는 것으로 판단된다.

위의 결과에서 보는 바와 같이 반강자성층과 강자성층의 스퍼터링 전력을 변화시켜 교환이방성의 세기를 조사한 결과 최대의 교환이방성을 얻기 위해서는 최적의 스퍼터링 전력이 필요하며, 미세구조 측면에서는 자성상 및 반강자성상의 (111)면의 우선성장 혹은 향상된 결정성 정도가 매우 중요한 역할을 함을 X선 회절 분석 결과로 알 수 있었다.

한편 고착층의 CoFe와 자유층의 CoFe를 분리하고 있는 Cu의 경우 두께제어가 매우 중요하므로 스퍼터링 전력을 변화시킬 시 두께제어가 어려운 점이 많다. 그러므로 다른 층의 제조조건을 일정하게 한 후 단지 Cu 층의 스퍼터링 압력만을 변화시켜 교환이방성의 세기 및 자기적 특성을 조사하였다. 이 때 Cu, CoFe, FeMn 층의 증착전력

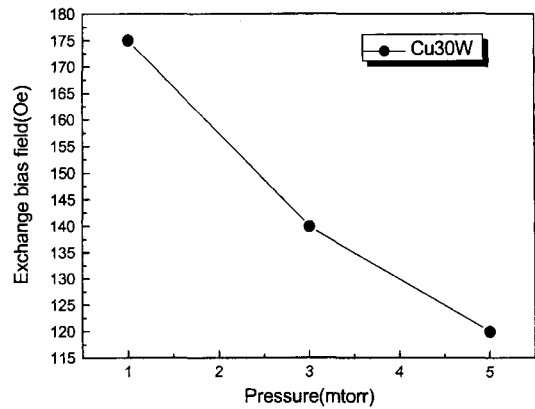


Fig. 4. The variation of exchange bias field with the sputtering pressure conditions of Cu interlayer.

은 30 W, 50 W, 150 W로 각각 고정하였으며, 단지 Cu의 증착 압력만 1~5 mTorr로 증가시켰을 때 교환이방성의 세기를 Fig. 4에 나타내었다. 스퍼터링 압력을 1, 3, 5 mTorr로 증가시 H_{ex} 는 175, 140, 120 Oe로 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이와 같은 결과는 대부분의 연구결과에서 제시하는 압력 증가시 계면 거칠기가 증가하여 교환이방성은 감소한다는 결과에서[14] 계면 거칠기의 부분만 제외한다면 잘 일치한다. 하지만 본 실험에서 Cu의 증착 압력을 증가시킨 시료의 표면을 AFM으로 분석한 결과 오히려 압력증가시 계면 거칠기가 감소하고 있음을 알 수 있었다. 이와 같은 연구결과는 타 연구자와 비교시 상반된 결과를 보이고 있다. 증착 압력 증가시 오히려 표면 거칠기가 감소하는 경향을 보였기 때문이다. 현재로서는 낮은 전력에서 스퍼터링 압력을 증가시키면 계면 거칠기가 감소하며, 교환이방성이 감소하는 것을 설명하기가 어려워 재현성 실험과 추가적인 분석이 요구되고 있다.

Cu 증착 압력 변화에 따라 층간 교환 바이어스 자장 값과, 자기저항비, 자장민감도의 상관관계를 Fig. 5에 나타내었다. 증착 압력을 증가시키에 따라 자기저항비 및 자장민감도는 감소하며, 반면에 층간 교환바이어스 자장은 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이상의 결과로 종합하여 보면 낮은 스퍼터링 압력 하에서 Cu을 증착하여 스핀 밸브를 제조할 경우 자기저항, 교환이방성세기, 자장민감도를 증가시키고, 층간 교환바이어스는 감소시키는 적절한 제조조건을 발견할 수 있었다.

Fig. 6은 Cu 두께를 26 Å으로 고정시킨 Si/Ta/NiFe/CoFe/Cu(26 Å)/CoFe/FeMn/Ta 스핀 밸브 구조에서 앞에서 언급한 다양한 제조조건 하에서 만든 시료들의 자기적

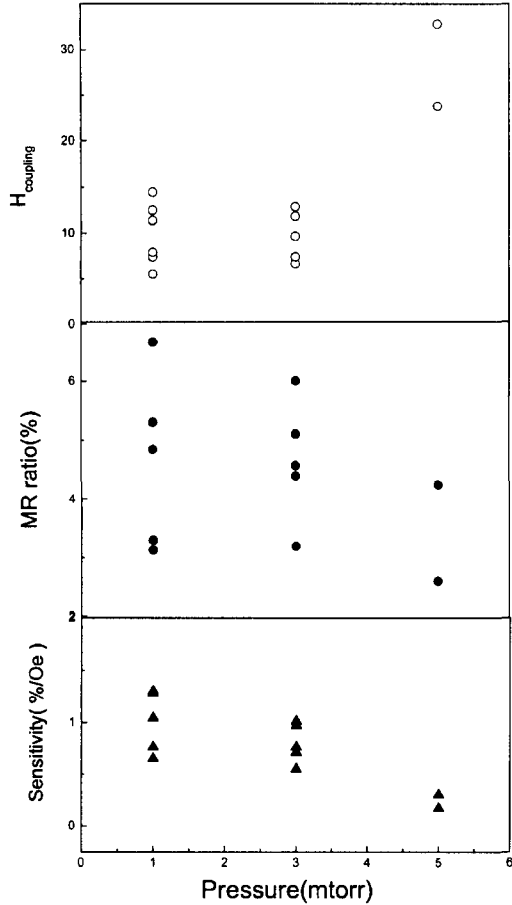


Fig. 5. The changes of the interlayer coupling field, MR ratio and sensitivity with a function of Cu sputtering pressure for the Si/Ta/NiFe/CoFe/Cu/CoFe/FeMn/Ta top spin valve structures.

항비와 교환이방성과의 관계를 나타내었다. 교환 이방성 세기가 큰 시료일수록 자기저항비가 높음을 보여주고 있는데, 같은 스핀밸브 구조라도 제조 방법에 따라 자기저항비가 2%에서 5.5%까지 큰 차이를 보였으며, 교환이방성 세기도 90-190 Oe 까지 변화하고 있다. 또한 H_{ex} 값과 시편의 저항(Ω) 및 저항변화(ΔR)와의 상관관계를 보면 H_{ex} 가 저항변화보다는 시료의 저항과 더욱 밀접한 관계가 있음을 알 수가 있다. 즉 스핀밸브 GMR의 저항변화는 강자성층의 상대적인 자화 방향에 의존하므로 교환자기장은 강자성층의 자화 방향에 비교적 무관하며, 오히려 미세구조에 더욱 밀접한 관계를 가짐을 알 수 있다. 부연하면 Fig. 6에서 전체적으로 저항이 낮은 재료일수록 H_{ex} 값이 크다는 것은 곧 재료 전체의 저항에 영향을 주는 미세구

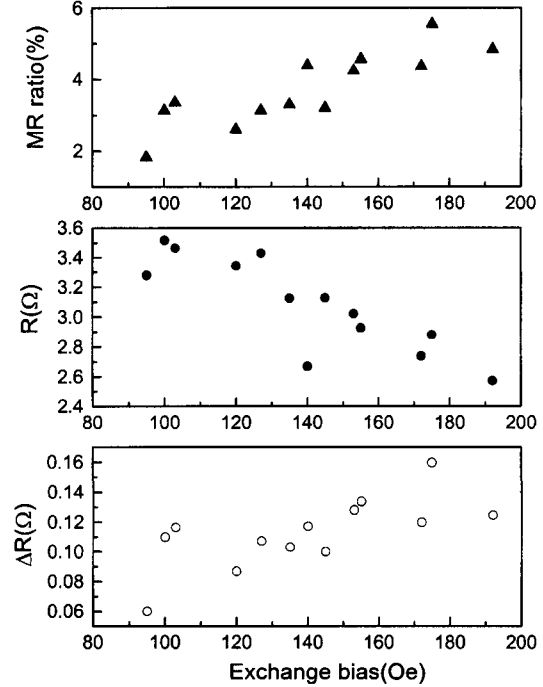


Fig. 6. Exchange field dependence of MR ratio, sample resistance, amplitude of resistance change for the top spin valve structures produced by various sputtering conditions.

조 변화가 교환이방성 변화에 영향을 주었다는 것을 말해 주고 있다. 예를 들어 스핀 밸브 전체 구조의 결정화도 증가와 결정립도 증가, 불순물이 거의 없는 구조 등 즉 낮은 저항을 유지하는 미세구조가 FM-AFM의 교환이방성 값을 증가시키는데 유리하며, 스핀 의존 산란 효율을 극대화시킬 수 있을 것이라고 생각된다.

Fig. 7은 Cu의 두께만을 변수로 하였을 때의 자기저항비(MR ratio)와 H_{ex} 의 변화를 보여주고 있다. Cu의 두께가 38 Å~22 Å범위에서 감소할수록 자기저항비가 증가하고 있음을 알 수가 있다. 이것은 Dieny 등의[15] 결과와 같은 경향이었는데, Cu 두께가 18 Å 이하에서는 Cu 층의 두께가 증가할수록 자기저항비가 계속 감소한다고 하였다. 이러한 원인은 먼저 강자성체 층 사이의 비자성층인 Cu의 두께가 26 Å에서 22 Å으로 감소하면서 강자성층 사이의 AFM coupling이 증가하여 자기저항비에서 저항의 변화율(ΔR)을 증가시켰기 때문으로 설명할 수 있다. 측정 시편들은 시료의 Rmin 값의 차이는 거의 없지만 ΔR 의 차이는 분명했다(최대 2배 정도 차이). Cu의 두께가 두꺼워질수록 자기저항비가 감소하는 것은 Cu 층으로의 전류 shunting 효과의 의한 것과, Cu층 두께가 증가함에 따라

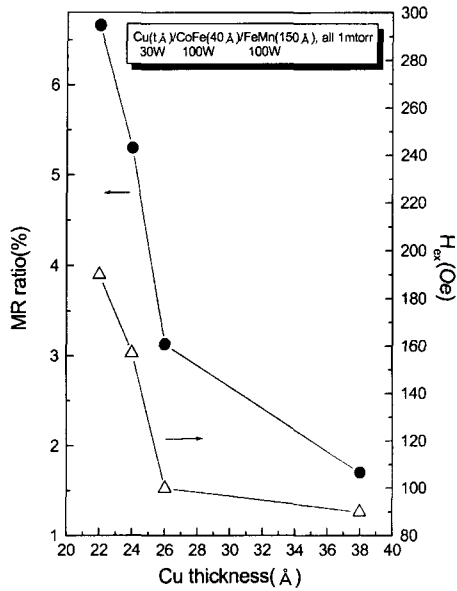


Fig. 7. The Cu thickness dependence of MR ratio and exchange bias field for Si/Ta(50 Å)/NiFe(60 Å)/CoFe(20 Å)/Cu(t Å)/CoFe(40 Å)/FeMn(150 Å)/Ta(50 Å) top spin valve structures.

Cu층을 통과하는 전도전자(conduction electron)의 산란(scattering)이 증가하기 때문에 비자성층(또는 spacer)을 통과하는 전자의 흐름이 감소하여 스핀 밸브 거대자기저항 산란 효율이 감소하였기 때문인 것으로 알려져 있다[16].

Fig. 7에서 또한 주목할만한 것은 층간층인 Cu의 두께 변화에 의해서 H_{ex} 값도 변화한다는 것이다. 즉 Cu 두께 감소시 H_{ex} 값도 증가하였다. 이것은 Cu 층의 두께가 감소하면서 Cu 층간 AFM coupling의 증가가 피고정층(pinned layer, FM)과 AFM의 H_{ex} 증가에 영향을 준 것으로 여겨진다. 보통 교환 바이어스는 아래와 같은 FM-AFM 스핀-스핀 상호작용 세기에 의해 설명이 된다.

$$S_{AFM} \cdot S_{FM} = S_{AFM} S_{FM} \cos\alpha \quad [13]$$

이때 α 는 AFM 스핀과 FM 스핀 사이의 각도이다. 따라서 Cu의 두께 변화시 AFM표면의 스핀 방향은 변화가 없다고 가정할 때, Cu의 두께 감소에 의해 FM 간의 AFM coupling이 증가하게 되어 FM의 스핀 방향이 변화하고 이로 인해 AFM-FM의 스핀사이의 각도가 감소하는 방향으로 유도되어 $\cos\alpha$ 항의 증가로 인한 교환 바이어스 값이 증가하였을 것으로 사료된다.

이상의 결과를 종합해 보면 Si/Ta/NiFe/CoFe/Cu/CoFe/FeMn/Ta 스핀 밸브에서 CoFe, FeMn의 스파터링 전력을

100 W, 150 W로 Cu의 스파터링 전력 및 압력을 각각 30 W 및 1 mTorr로 하여 최대 저항비 5.5 %, 교환자기이방성 175 Oe, 자기민감도 1.3 %/Oe, 층간 교환 바이어스 10 Oe 이하의 값을 얻을 수 있었다. 또한 Cu 두께를 제어하여 자기저항비를 6.5 %까지 증가시킬 수 있었다. 교환이방성은 반강자성/강자성의 계면에서 발생하므로 반강자성과 강자성상의 미세구조가 매우 중요함을 확인하였으며 제조 조건에 관계없이 큰 교환이방성을 갖는 시료는 저항값이 낮은 시료였다는 것을 확인하였다.

IV. 결 론

6개의 타겟을 가진 직류 마그네트론 방식을 이용하여 Si/Ta(50 Å)/NiFe(60 Å)/CoFe(20 Å)/Cu(26 Å)/CoFe(40 Å)/FeMn(150 Å)/Ta(50 Å) 스핀 밸브 박막을 제조하였다. 스파터링 전력 및 압력을 변화시켜 Top 스핀밸브 구조의 교환자기이방성 및 자기적 특성을 조사한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

1) FeMn 층의 증착시 스파터링 전력을 증가시킴으로 교환이방성을 증가시킬 수 있었다. 스파터링 전력 증가에 따른 교환이방성의 증가는 (111)면의 우선성장 발달에 기인하는 것으로 판단된다.

2) FeMn의 스파터링 전력을 150 W로 고정하고 강자성상의 스파터링 전력을 30 W에서 150 W 증가시 100 W까지는 교환이방성이 증가하나 150 W에서는 급격히 감소하였다. 이와 같은 급격한 감소의 원인은 (111)면 우선성장의 감소에 기인하였다.

3) 교환 바이어스 효과는 반강자성상과 강자성의 계면에서 발생하는 것이지만 본 연구에서 선택한 스핀밸브 구조에서 Cu의 스파터링 압력을 1-5 mTorr 증가시 교환이방성이 급격히 감소하였다. 그러므로 교환이방성의 계면은 계면을 접하고 있지 않는 층의 제조조건에도 민감함을 확인하였다.

4) Si/Ta/NiFe/CoFe/Cu(t), 30 W/CoFe, 100 W/FeMn, 100 W/Ta 스핀 밸브에서 Cu 두께를 22-38 Å까지 변화시켜 자기저항비 6.5 %까지 얻을 수 있었으며, Cu 두께를 감소시켜 교환이방성을 증가시킬 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 1999년 한국과학기술연구원의 K-2000 program, 과학기술부의 NRL 및 한영공동연구과제(Korea-

UK science and technology joint collaboration program)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] IBM Web site: <http://www.stroage.ibm.com/press/hdd>.
- [2] D.E Heim, R.E. Fontana, Jr, C. Tsang, V.S. Sperious, B.A. Gumeay and M.L. Willanms: IEEE Trans. Magn. **30** 316(1994).
- [3] Y. Hamakawa, H. Hoshiya, T. Kawabe, Y. Suzuki, R. Arai, K. Nakamoto, M. Fuyama and Y. Sugita: IEEE Trans. Magn. **32**, 149(1995).
- [4] H. Yoda, H. Iwasak, T. Kobayashi, A. Tsutai and M. Sahashi: IEEE Trans. Magn. **32**, 3363(1996).
- [5] R. Jungblut, R. Coehoorn, M.T. Johnson, J. aan de Stegge and A. Reinders: J. Apply. Phys. **75**, 6659(1994).
- [6] B. Y. Wong, C. Mitsumata, S.Prakash, D.E. Laughlin and T.Kobayashi: J. Appl. Phys. **79**, 7896(1996).
- [7] W.C. Cain, W.H. Meiklejohn and H. Kryder: J. Appl. Phys. **61**, 4170(1987).
- [8] H. Uyama, Y. Otani, K. Fukamichi, O. Kitakami, Y. Shimada and J. Echigoya: Appl. Phys. Lett. **71**, 1258 (1977).
- [9] T.Valet, P.Galtier, J.C. Jacquet, C. Meny and P.Parissod: J. magn. magn. Mater. **121**, 402(1993).
- [10] Y. Kamiguchi, K. Sato, H. Iwasaki, M. Sahashi, M. Ouse and S. Nakamura: J.Appl. Phys. **79**, 6399(1996).
- [11] Private communication.
- [12] K. Hoshino, R. Nakatani, H. Hoshiya, Y. Sugita and S. Tsunashima, Jpn. J. Appl. phys. **35**, 607(1996).
- [13] J.Nogues, Ivan K, Schuller, J. Magn. Magn. Mater. **192**, 203(1999).
- [14] D. Lederman, J. Nogues, I.K. Schuller, T.J. Moran and K.V. Rao: Appl. Phys. Lett. **68**, 3186(1996).
- [15] B. Dieny, V.S. Speriosu, S.Metin, S.S.P. Parkin, B.A. Gurney, P. Baumgart and D. Wilhoit, J. Appl. Phys. **69**, 4774(1991).
- [16] B. Dieny, J. Magn. Magn. Mater. **136**, 335(1994).

Effect of sputtering conditions on the exchange bias and giant magnetoresistance in Si/Ta/NiFe/CoFe/Cu/CoFe/FeMn/Ta spin valves

K. Y. Kim, K. S. Shin, S. H. Han, S. H. Lim and H. J. Kim

*Thin Film Technology Research Center, Korea Institute of Science and Technology
39-1 Hawolgok-dong Seungbuk-gu, Seoul 136-791, Korea*

S.H. Jang and T. Kang

Division of Materials Science, Seoul National University 56-1 Shinlim-Dong Kwanak-gu Seoul

(Received 1 April 2000, in final form 20 April 2000)

Top spin valve samples with a structure Ta/NiFe/CoFe/Cu/CoFe/FeMn/Ta were deposited on a Si(100) substrate by changing d.c. magnetron sputtering conditions and the exchange-bias and magnetic properties of samples were investigated. The Exchange field, H_{ex} increased with increase of sputtering power of FeMn from 30 to 150 W and CoFe from 30 to 100 W deposited on the Cu, the increase of H_{ex} was found due to the improvement of preferred orientation of (111) FeMn phase from XRD results. In the case of Cu, H_{ex} decreased with the increase of sputtering pressure ranging from 1 to 5 mTorr. The relationship between exchange field and resistance was investigated, spin valve samples with a large exchange field showed the lower resistance, which was strongly dependent on the good crystallinity and grain size increase as well as lower scattering effects. The Cu thickness was changed from 22 to 38 Å for Si/Ta/NiFe/CoFe/Cu(t), 30 W/CoFe, 100 W/FeMn, 100 W/Ta spin valve structures, MR ratio of 6.5 % and exchange field of about 190 Oe were obtained for the sample with Cu of 22 Å thickness. The increase of exchange field with decrease of Cu thickness was explained by FM/AFM spin-spin interaction.