

## Synthetic Antiferromagnet CoFe/Ru/CoFe/FeMn을 이용한 스핀 밸브 구조의 자기저항 특성

### The Magnetoresistance Properties of Spin Valves with CoFe/Ru/CoFe/FeMn Synthetic Antiferromagnets

서울대학교 재료공학부 장성호\*, 강탁

한국과학기술연구원 박막기술연구센터 김민정, 신경호, 김희중, 김광윤

#### 1. 서론

10 Gbit/in<sup>2</sup>의 고밀도 자기 기록에 대응하기 위하여 최근 재생전용 헤드로서 거대자기저항 스핀밸브 다층 박막이 사용되고 있다. 그러나 20Gbit/in<sup>2</sup> 이상의 고밀도를 구현하기 위해서는 기존의 스핀밸브 구조는 낮은 교환자기이방성, 열적안정성, 그리고 소자의 크기를 줄임에 따라서 구속층의 반자장에 의한 자유층의 read back asymmetry가 증가하는 것이 큰 문제점으로 지적되고 있다. 최근에 이러한 문제점을 개선하기 위하여 기존 스핀밸브에서 구속층(pinned layer)을 대신하여 강자성층/비자성층/강자성층의 인공 초격자 삼층막 구조인 Synthetic Antiferromagnet을 갖는 스핀밸브구조가 제안되었다[1]. 기존의 스핀밸브 구조가 반강자성/강자성의 계면에서 교환이방성을 이용하는 반면에 synthetic antiferromagnet은 구속층으로 다층박막에서 사용되는 first antiferromagnetic coupling을 사용함으로 교환이방성에너지를 증가시킬 수 있으며, 반강자성 교환결합으로 인하여 자성층의 자화값을 거의 제로로 줄일 수 있기 때문에 자유층에 반자장의 효과를 줄일 수 있는 등 다양한 장점을 가지는 것으로 보고 되고 있다[2].

본 연구에서는 Synthetic antiferromagnet CoFe/Ru/CoFe를 사용하고 이 위에 일방향(unidirectional) 자기이방성을 주기 위해 FeMn 반강자성층을 사용하였으며, 자유층으로 NiFe/CoFe 이중 층을 사용한 top 스핀밸브 구조를 제조하였다. 고밀도 기록에 대응하기 위해서는 각층의 두께를 감소시키는 것이 중요하므로 다층막의 전체 두께를 최소화시킬 경우 스핀밸브 특성에 가장 민감하게 작용하는 층(layer)을 조사해보고자 하였으며, 우수한 자기저항특성을 갖는 Synthetic antiferromagnet 구조와 자유층 및 반강자성층의 두께를 최적화시키는 조건들을 찾고자 하였다.

#### 2. 실험방법

2인치 크기의 6개의 타겟을 가진 직류 마그네트론 스퍼터링 방식으로 자연 산화막을 가진 Si(100) 기판 위에 Ta/NiFe/CoFe/Cu/CoFe/Ru/CoFe/FeMn/Ta Synthetic 스핀 밸브 박막을 제조하였다. 스퍼터링 장비의 초기 진공도는 6x10<sup>-7</sup> torr 정도로 하였으며, 각 물질의 증착속도는 전력을 변화시켜 0.5 -2.5 Å/sec로 조절하였으며, 자성층에 유도자기이방성의 형성 및 FeMn에 의한 교환자기이방성을 형성시키기 위하여 영구자석을 이용하여 증착 중에 300 Oe을 자장을 인가하였다. 본 연구에서 설계한 Si/Ta/NiFe/CoFe/Cu/CoFe(P1)/Ru/CoFe(P2)/FeMn/Ta Synthetic 스핀 밸브 박막 증착시 스퍼터링 압력은 1 mTorr로 고정하였고 Cu에 인접한 CoFe P1과 FeMn에 인접한 P2의 두께비를 조정하고, 이 때 자기저항비가 최적이 되는 조건에서 자유층의 두께와 FeMn의 두께를 조절하였다. 제조된 스핀밸브 박막의 자기적 특성은 진동 시편 자력계(Vibrating Sample Magnetometer)를 사용하여 측정하였고, 박막의 전도성은 직류 4 단자 탐침법으로 상온에서 측정하였으며, 이때 전류와 자장방향은 서로 평행하게 하였다. VSM에 사용되는 전자석을 사용하여 10 Koe 자장범위에서 전체적인 R-H 곡선을 측정하였으며, 이로부터 스핀밸브 박막의 유효 교환 자기이방성(Heff-ex)을 측정된 R-H 곡선에서 최대 자기저항비의 1/2에 해당하는 성분과 만나는 값으로부터 구하였다.

#### 3. 실험 결과 및 고찰

최적의 Ru 두께를 조사하기 위하여 Ru 두께를 7,8,9Å 으로 변화시켜 Si/Ta/NiFe/CoFe/Cu/CoFe(20Å)/Ru(tÅ)/CoFe(20Å)/FeMn(150Å)/Ta의 synthetic 스핀밸브 구조를 제조하였다. Ru 두께 변화에 따라 반

강자성 교환 결합력의 세기가 변화하므로 포화자장의 크기로 교환결합력의 세기를 조사하였고, Ru 두께가 7~8Å 정도일 때 포화자장이 6.3 kOe 정도로 최대가 되었으며, 이것은 문헌 [3]과 비슷한 결과였다. 그리고 Ru 두께가 7Å 일 때 MR 값은 최대가 되었다. 따라서 이후의 실험에서는 Ru의 두께를 7Å으로 고정하였다.

최대의 유효교환 이방성을 얻기 위해서는 Ru을 이웃하고 있는 CoFe의 torque가 동일한 것이 가장 좋으나 실제 시료의 제조시 동일한 보자력을 갖는 CoFe을 제조하는 것은 쉽지 않다. 또한 제조시 동일한 두께의 CoFe를 제조하는 것 또한 쉬운 일은 아니다. 그러므로 인위적으로 CoFe의 두께를 변화시켜 net torque를 제로로 만드는 것이 제시되고 있다. 또한 free layer의 bias current에 의한 자장이 pinned layer의 net magnetization에 영향을 끼치므로 이 영향을 배제하기 위해서는 Ru을 이웃하고 있는 CoFe의 두께의 차이를 변화시키는 것이 좋은 방법으로 제시되고 있다. Fig 1.은 CoFe의 P1층과 P2층의 두께 차이를 두면서 제조한 Synthetic spin valve 박막의 자기저항비 및 Heff-ex 값의 변화를 보여주고 있다. 이때 P1+P2=50Å으로 일정하게 하였으며, P1층의 두께가 30Å까지 증가할수록 MR 비는 증가하고 Heff-ex값은 감소하였다. Heff-ex가 감소하는 것은 두께 차에 의한 구속층의 net magnetization이 증가하기 때문이다.

Fig. 2는 FeMn의 두께를 변화시켰을 때 나타나는 자기저항비의 특성을 보이고 있는데 FeMn이 없을 때는 일방향 자기이방성이 없으므로 자유층과 synthetic antiferromagnet 층들의 스핀들이 자유 회전을 하여 FeMn이 있을 때의 R-H 곡선을 얻을 수가 없었으며, FeMn이 있을 경우 Cu 층의 두께가 26Å일 때 High field range에서 최고 7%까지 얻을 수 있었다. 한편 FeMn의 두께가 증가할수록 자기저항비는 서서히 감소하다가 150Å 이상에서는 급격히 감소하였다. 이러한 이유는 FeMn 층을 통한 current shunting이 심화되었기 때문으로 사료된다. 그런데 FeMn의 두께가 얇아질 경우 Heff-ex값은 낮아지는 경향을 보였다. 따라서 Heff-ex값이 포화되면서 current shunting을 억제할 수 있는 FeMn의 최적의 두께는 대략 100Å 정도임을 알 수가 있었다. 그리고 Free layer의 전체 두께를 변화시켰을 때 50Å에서 자기저항비가 최대값을 나타내고 50Å 이하에서는 대체적으로 자기저항비는 감소하는 경향을 보였다.

### 참고문헌

- [1] D.E. Heim and S. S. P. Parkin, U.S. Patent 5 465 185 (1995)
- [2] J.L. Leal and M.H. Kryder, J. Appl. Phys. vol.83 n.7, 3270 (1998)
- [3] Y. Huai et al., J. Appl. Phys. vol.85 n.8 3415 (1999)

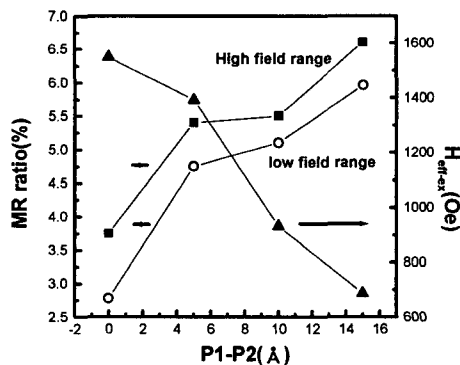


Fig 1. Thickness difference dependence of MR ratio(%) and Heff\_ex in top type synthetic spin valve : Ta(50Å)/NiFe(34Å)/NiFe(16Å)/Cu(26Å)/CoFe(P1Å)/Ru(7Å)/CoFe(P2Å)/FeMn(150Å)/Ta(50Å)

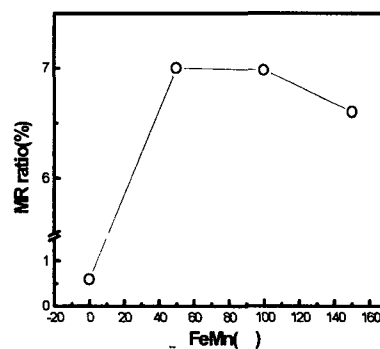


Fig 2. FeMn thickness (tÅ) dependence of MR ratio in top type synthetic spin valve : Ta(50Å)/NiFe(34Å)/NiFe(16Å)/Cu(26Å)/CoFe(30Å)/Ru(7Å)/CoFe(15Å)/FeMn(tÅ)/Ta(50Å)