

### CoFe/Ru/CoFe/FeMn에서 자화 플롭을 가진 Top 타입 스핀밸브의 각도 의존적 자기저항 특성 분석

서울대학교 재료공학부 장성호\*, 강탁  
한국과학기술연구원 박막기술연구센터 김희중, 김광윤

Analysis of spin valve with the magnetization flop by a thickness difference in the synthetic antiferromagnet

School of Materials Science and Engineering, Seoul National University, S.H. Jang\*, T. Kang  
Korea Institute of Science and Technology, H.J. Kim, K.Y. Kim

#### 1. 서론

최근 20Gbit/in<sup>2</sup> 이상의 고밀도에 대응하기 위해 반강자성층(AFM)에 의해 고정되는 하나의 강자성층(FM)을 대신하여 Co/Ru/Co(또는 CoFe/Ru/CoFe)의 인공 초격자 삼층막 구조인 Synthetic Antiferromagnet (SAF) 구조가 제안되었으며, 이 경우 약 7~8 Å의 Ru 사이로 한 두 FM은 RKKY type의 강한 반강자성 결합을 가지고 있다.[1, 2] 이 개선된 구조의 경우 센서 크기가 매우 작아져도 자유층과 고정층 사이의 정자기적 결합을 보다 줄일 수 있어서 자유층의 외부 자장에 대한 반응 제어가 용이하여 readback amplitude asymmetry를 감소시킬 수 있으며, 고정되는 층의 유효 교환 바이어스 자기장 값을 기존 구조보다 더 증가시킬 수 있다.[3] 그런데 이 SAF 구조는 특징적으로, 두 FM의 자기모멘트가 같을 경우 매우 낮은 외부 자기장에서도 spin flop(또는 magnetization flop)[4] 현상이 생겨 증착 중 자기장 방향에서 FM 자화들이 직교에 가까운 정도의 각도로 벗어나기 때문에 이를 막기 위해서는 두 FM간의 자기모멘트 차이를 유도하는 것이 필요하다고 인식되었다.[4] 그러나 반강자성층에 의해 고정되는 SAF 구조를 증착시켰을 때는 자기모멘트 차이를 유도한 특정 두께에서 오히려 이 spin flop 현상이 발견됨이 보고되었으며,[5] 본 연구 결과에서도 이와 비슷한 결과를 얻을 수 있었다.[6] 따라서 반강자성층에 의해 고정된 SAF 구조의 스핀밸브를 증착하였을 때, spin flop이 일어나는 현상에 대한 해석이 부족한 상태에 있다. 그러므로 본 연구에서는 FeMn에 의해 고정되는 SAF 구조를 두 FM 간의 자기모멘트 차이를 두고 증착시킬 때 증착시 인가된 자기장에 대한 고정된 SAF 자화 반응 각도를 최소 에너지 모델 및 증착된 시편의 각도 의존성 자기저항 곡선으로부터 예측을 하여 어떤 인자가 고정된 SAF 구조의 spin flop 현상에 미치는 지를 분석하였다.

#### 2. 실험방법

적류            마그네트론            스퍼터링            방식으로            Si(100)            기판            위에  
Ta/NiFe/CoFe/Cu/CoFe/Ru/CoFe/FeMn/Ta top 방식의 스핀 밸브 박막을 제조하였다. 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 Å)/Ru/CoFe(P2 Å)/FeMn/Ta 스핀 밸브 박막 증착시 P1+P2 = 45 Å으로 일정하게 하면서 Cu에 인접한 CoFe(P1 층)와 FeMn에 인접한 CoFe(P2 층)의 두께차를 변화시켰다. 제조된 스핀밸브 박

막의 자기적 특성은 진동 시편 자력계(Vibrating Sample Magnetometer)를 사용하여 측정하였고, 박막의 자기저항 특성은 직류 4 단자 탐침법으로 상온에서 측정하였으며, 이때 전류와 자장방향은 서로 평행하게 하였다. 그리고 이 때 10 kOe 범위에서 VSM에 사용되는 전자석을 사용하여 R-H 곡선을 측정하였으며, 각도 의존성 자기저항 곡선은  $\pm 100$  Oe 낮은 구간에서  $5^\circ$  간격으로 측정하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

Fig 1.은 CoFe의  $P1 = 25 \text{ \AA}$ ,  $P2 = 20 \text{ \AA}$ 인 구조로 증착시 인가한 자기장 방향 및 그 수직 방향의 자기저항곡선을 측정한 경우이다. 이 그림으로부터 SAF 구조를 가진 스핀밸브의 경우 spin flop이 생겼음을 알 수 있으며, 각도 의존성 자화 곡선으로부터 증착시 인가 자장 방향으로부터  $100^\circ$  에서 최대의 자기저항비가 나타남을 확인하였다. 또한 각도 의존성 자화 곡선과 FeMn에 의해 고정된 SAF 구조에 대한 에너지 모델로부터  $P1$ ,  $P2$ , 그리고 Pinning direction의 각도를 분석하여 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2로부터 두께 차이를 둔 SAF 구조에서 자화 용이축에서 벗어난 spin canting 구간이 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 canting 구간이 생기는 이유에 대한 토론은 발표장에서 할 것이다.

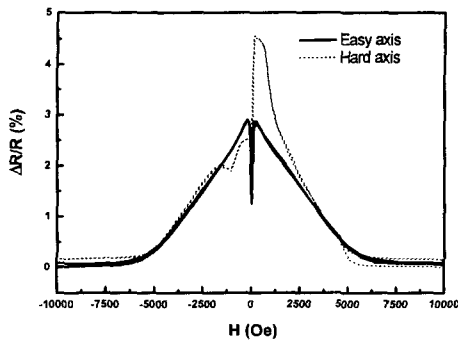


Fig. 1. MR response curves of spin valve with the SAF structure of  $P1=25 \text{ \AA}$  and  $P2 \text{ \AA}$ .

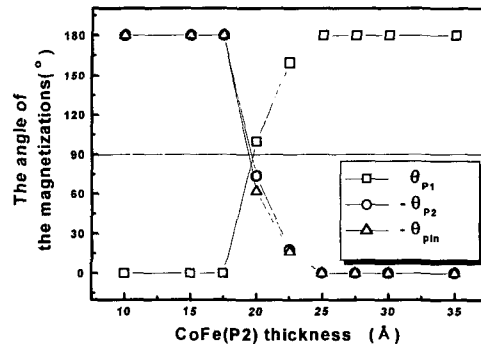


Fig. 2. The calculated  $P2$ ,  $P_{in}$  and the measured  $P1$  as a function of  $P2$  layer thickness( $t_{p2}$ ) in spin valves with different thickness ratio of  $P1$ ,  $P2$  layers in the SAF.

### 4. 참고문헌

- [1] D.E. Heim and S. S. P. Parkin, U.S. Patent 5 465 185 (1995)
- [2] S. S. P. Parkin, N. More, and K. P. Roche, Phys. Rev. Lett, 64, 2304(1990)
- [3] 장성호, 강탁, et al, 한국자기학회지, 10, 196(2000)
- [4] J. G. Zhu, IEEE Trans. Magn. 35, 655(1999)
- [5] C. H. Marrows, F. E. Stanley, and B. J. Hickey, J. Appl. Phys. 87, 5058(2000)
- [6] 김광윤, 장성호 et al, 2000년 추계 한국자기학회 발표회