

## Parametric Sensitivity Analysis on the Giant Magnetosistive Charateristics of Synthetic Antiferromagnet-Based Spin-valves

Korea university J.-S. Park, S.-R. Lee, Y. K. Kim

### 1. 서론

Giant magnetoresistance(GMR) 현상에 기인하여 스핀밸브(SV)는 자기저장분야에서 중요한 역할을 담당하고 있다. Conventional SV(CSV) 경우 두 개의 자성층으로 구성되는데 이 중 하나는 이웃한 반강자성체와 교환결합을 하고 있다. 이런 CSV 이외에 CoFe/Ru/CoFe 삼층막을 사용한 synthetic SV(SSV)가 있다. Ru를 사이에 둔 두 CoFe 층은 서로 강하게 antiferromagnetically coupled 되어있다. SSV는 CSV에 비해 열적으로나 또한 자기적으로 많은 장점을 가지고 있다. 이런 SSV의 장점에도 불구하고 SSV는 magnetization flop에 기인한 심각한 문제점을 가지고 있다[1]. Magnetization flop은 두 CoFe 층 사이의 antiferromagnetic coupling 크기등 여러 magnetic parameter의 값에 의존한다. 그러한 parameter는:(1) P1 과 P2 사이의 indirect exchange coupling( $J_1$ ), (2) P1 과 IrMn 간의 exchange biasing energy( $J_{cb}$ ), (3) CoFe/Ru/CoFe 삼층막의 상대적인 GMR 기여도(R)를 들 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이런 parameter들을 독립적으로 변화시켜 magnetization flop과 자기저항곡선에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

### 2. 이론적 계산 및 실험 방법

Single domain multilayer model을 사용하여 NiFe 3.2/CoFe 1.6/Cu 2.8/CoFe(P2) 3.0/Ru 0.7/CoFe(P1) 1.5/IrMn 9 (nm) 구조를 갖는 SSV에 대해 Landau-Lifschitz-Gilbert 식을 통해 각 자성층의 자화 거동과 이로 인한 자기저항 곡선을 계산하였다. 자성박막의 크기는  $1 \times 1 \text{ cm}$  로 고정하였고 CoFe 과 NiFe 의 자화값을 각각 1300 emu/cc 과 800 emu/cc 로 하였다. 자유층(NiFe 3.2/CoFe 1.6)의 경우 계산을 단순화하기 위해 두 층의 평균 자화값인 967 emu/cc를 사용하였고 유도일축자기이방성의 크기를 5 Oe 로 하였다. 또한 스퍼터시 magnetization flop에 의해 pinning 방향이 증착자장방향에 대해 약  $12^\circ$  기울어져있다고 가정하였다. 이런 계산결과와 실험결과를 비교하기 위해 위와같은 구조의 SSV를 마그네트론 스퍼터링으로 제작하였다. 증착시 자유층과 고정층의 외부자장방향은 같은 방향으로 고정하였다. 스퍼터링후 사진 열처리를 하지 않았고 자기저항곡선은 4 point probe를 이용하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Parameter들의 다양한 set을 사용하여 실험적으로 얻은 자기저항곡선과 이론적으로 얻은 곡선 사이의 비교분석을 실시하였고 이론값과 실험값이 가장 잘 일치할 때의 자기저항곡선이 Fig. 1에 나타나 있다. Fig. 1에서 보는 것과 같이 전체적인 외부자장범위에서 실험결과와 이론결과가 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 이때, 추출된 parameter들의 set은  $J_1 = -1.5 \text{ erg/cm}^2$ ,  $J_{cb} = 0.13 \text{ erg/cm}^2$ ,  $R = 3 \%$  이다. 이런 값들은 다른 실험자의 실험결과에서 얻은 값과 상당히 일치했다[2-4]. Fig. 2는 각 parameter를 독립적으로 변화시킴에 따른 자기저항곡선의 변화를 나타낸다.  $J_1$  이 증가할수록 포화자장값과 sub-peak에서 자기저항비가 최대인 자장값이 증가하는 것을 발견할 수 있었고  $J_{cb}$ 가

증가할수록 effective exchange field가 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 R의 경우, R 값이 증가할수록 자기저항비가 증가하는 것을 알 수 있었다. 특히 R = 3 %일 때 계산결과와 실험결과가 일치하는 사실에서 CoFe/Ru/CoFe 삼층막에서 Ru과 CoFe(P1) 층이 단순히 current를 shunting시키는 역할을 하는 것이 아니라 비록 그 크기는 작지만 자기저항비에 기여한다는 사실을 알 수 있었다.

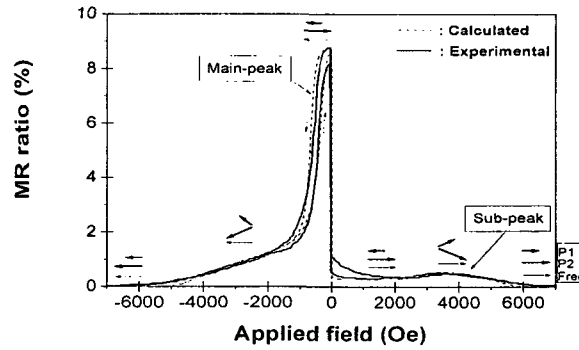


Fig. 1. Experimental (solid line) and calculated (dash line) MR transfer curves. Thick solid arrows and thin solid arrows indicate the magnetization direction of CoFe layers and that of the free layer, respectively. Dotted arrows mean MR transfer behavior according to the direction of the applied field. We define main peak and sub-peak in the insert.

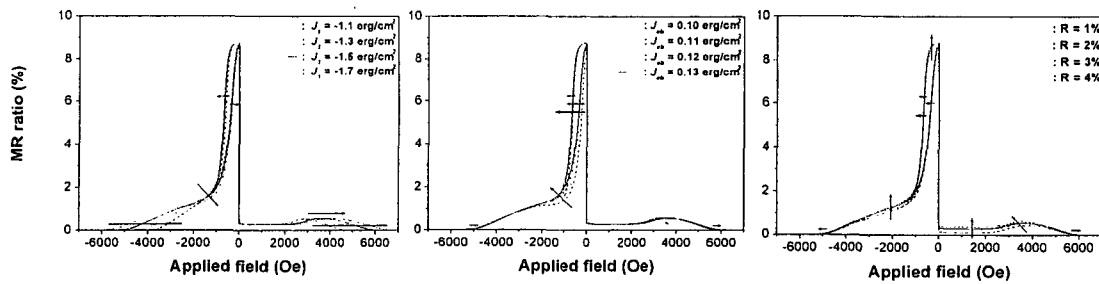


Fig. 2. Calculated MR transfer curve for various parameters. Dash, dotted, solid, and dash dot dot line indicate the variation of each parameters. The direction and the length of arrows respectively mean the direction and the magnitude of the variation of MR transfer curve.

#### 4. 결론

Single domain model을 사용하여 계산한 결과와 실험 결과를 비교분석한 결과 두 경우가 상당히 일치하는 것을 알 수 있었다. 이는 우리의 실험 샘플이 비록 cell size가 큼에도 불구하고, single domain 거동을 한다는 것을 나타내어 준다. 또한 각 parameter들의 자기저항곡선에 미치는 영향도 알 수 있었다.

#### 5. 참고문헌

- [1] J. G. Zhu, and Y. Zheng, IEEE Trans. Magn., **34**, 1063 (1998).
- [2] H. Nagai, M. Ueno, and F. Hikami, IEEE Trans. Magn., **35**, 2964 (1999).
- [3] H. N. Fuke, K. Saito, Y. Kamiguchi, H. Iwasaki, and M. Sahashi, J. Appl. Phys., **81**, 4004 (1997).
- [4] J. van Driel, R. Coehoorn, K.-H. H. Lenssen, A. E. T. Kuiper, and F. R. de Boer, J. Appl. Phys., **85**, 5522 (1999).