

## Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub> 자유층에 삽입된 여러 가지 $\delta$ -layer의 영향

이상호\*, 홍종일

연세대학교 공과대학 신소재공학과, 서울 서대문구 신촌동 134, 120-749

### 1. 서론

지난 십 수년 동안, 자기기록매체의 저장 밀도를 매년 60% 이상 증가시킨 원동력 중의 하나는 재생 헤드에서의 거대자기저항(GMR) 스핀밸브의 적용이라고 할 수 있다[1]. 스핀밸브는 감도가 높고 잡음이 적기 때문에 하드디스크의 재생헤드로 사용되고 있다 [2]. GMR 값은(또는 면저항차이  $\Delta R_{\square}$ ) 헤드의 출력과 비례하기 때문에, GMR 값은 헤드의 성능을 결정하는 가장 중요한 변수로 여겨지고, GMR 값을 증가시키는 것이 스핀밸브의 연구 목표로 되어왔다.

자기저항(MR) 성능을 향상시키는 한 가지 방법은 스핀밸브의 자유층과 고정층에  $\delta$ -layer라고 불리는 매우 얇은 sub-monolayer의 불순물을 삽입하는 것이다 [3,4]. 자성층내에 삽입된 불순물( $\delta$ -layer)로 인해 형성된 자성층의 국부적인 상태밀도 변화에 따라 스핀 의존적인 산란의 정도가 결정된다. Co 자성층을 이용한 스핀밸브에서 Ni, Cu, Fe  $\delta$ -layer는 불순물에서 스핀 의존 산란을 증가시켜 GMR 값을 향상시킨다고 보고되고 있다. 본 연구에서는 산화물 반사층을 가진 스핀밸브의 Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub> 자유층에 Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>, Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub>, Ta, Cu, Ru  $\delta$ -layer를 삽입함으로써 스핀밸브의 GMR 현상에 미치는 영향을 알아보려고 한다.

### 2. 실험방법

샘플의 제작은 기본진공  $2 \times 10^{-7}$  Pa 이하의 초고진공 스퍼터로  $\delta$ -layer를 갖는 스핀밸브를 증착하였다. 샘플의 구조는 Ta 50/NiFe 16/Pd<sub>32</sub>Pt<sub>17</sub>Mn 150/CoFe 15(P<sub>1</sub>)/Ru 8.5/CoFe 10(P<sub>2A</sub>)/Oxide I/CoFe 18(P<sub>2B</sub>)/Cu 20/CoFe 7.5(F<sub>1</sub>)/ $\delta$ -layer/CoFe 7.5(F<sub>2</sub>)/Cu 8/Oxide II 30 (Å)이며, P는 고정층을, F는 자유층을 뜻한다. CoFe의 조성은 Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>이다. 고정층에 삽입된 Oxide I은 자연 산화된 (Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>)O<sub>x</sub>이고, 덮개층의 Oxide II는 Ar 가스로 스퍼터링하여 증착한 AlO<sub>x</sub>이다.  $\delta$ -layer로는 Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>, Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub>, Ta, Cu, Ru 등이 사용되었고, 그 두께는 0.5 Å이다. Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>  $\delta$ -layer의 경우, 자유층은 Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub> 7.5/Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub> 0.5/Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub> 7.5 (Å)의 세 단계로 나누어 연속적으로 증착하였다. 일방향 이방성을 유도하기 위해 스핀밸브를 230 °C에서 280 °C로 열처리하였다. 상온에서 4-point probe를 사용하여 -2~2 kOe 영역에서 스핀밸브의 자기적, 전기적 성질을 측정하였다.

### 3. 실험결과

Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>, Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub>, Cu  $\delta$ -layer가 삽입된 스핀밸브의 GMR 값이나  $\Delta R_{\square}$ 는  $\delta$ -layer가 없는 스핀밸브의 GMR 값(~14%)과 비교하였을 때 큰 차이가 없었다. 반면에 Ta이나 Ru  $\delta$ -layer가 삽입된 스핀밸브에서는 GMR 값이 감소되었다. 특히, Ru  $\delta$ -layer가 삽입된 스핀밸브의 GMR 값은 Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>이나 Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub> layer가 삽입된 스핀밸브와 비교하여 35% 이상의 큰 감소를 보였다. 이는 기존에 보고된 실험 결과와 일치한다[4]. 하지만 보자력  $H_c$ 와 층간 교환 결합력  $H_{in}$  같은 자기적 성질은 큰 변화가 없었다. 산화물 반사층이 스핀밸브의 전기적, 자기적 성질에 미치는 영향은 다른 논문에서 자세히 다루고 있다 [5].

#### 4. 고찰

Co층내에 삽입된 Ni과 Fe은 Cu 사이트 근처에 위치할 때 GMR 값을 증가시킨다고 보고되었다. 15 Å 두께의 CoFe 자유층 가운데 삽입된 Ni과 Fe 불순물은 스핀 의존적인 산란요소가 되어, GMR 값의 향상에 기여한다. 이와 대조적으로 Ru  $\delta$ -layer를 삽입한 스핀밸브의 GMR 값은 크게 감소했다. Ru은 스핀 비대칭성이 작아서 벌크에서 스핀 의존 산란을 방해하는 것으로 알려져 있다. 실제로 스핀밸브에 Ru을 첨가하면 GMR 값이 낮아진다 [6,7]. Ta  $\delta$ -layer가 삽입된 스핀밸브도 Ru  $\delta$ -layer가 삽입된 스핀밸브처럼 GMR 값이 감소하지만 1.23 대 0.22로 Ta이 Ru보다 스핀 비대칭성이 커서 Ru만큼 벌크에서의 스핀 의존 산란을 방해하지 못한다 [8].

본 실험의 목표는  $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$  자유층에  $\delta$ -layer를 삽입하여 GMR 값을 증가시키려는 것이었지만, 큰 변화를 보이지는 않았다. 이는 Co 자유층에서 Fe 원자의 삽입으로 인하여 국부화된 포텐셜로 인한 스핀 의존적 산란이 불순물에 의한 산란보다 스핀밸브의 자기저항을 결정하는 데 더 크게 기여하기 때문인 것으로 사료된다. 실제로 이것이 Co 용매 내에 Fe 용질이 무작위적으로 분포한 고용체  $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 가 높은 GMR 값과 연자성, 그리고 강한 열적 안정성으로 인해 스핀밸브에서 가장 흔히 쓰이는 이유로 여겨진다 [9,10].

#### 5. 결론

$\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ ,  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ , Cu, Ta의 sub-monolayer는 스핀밸브의 GMR 값을 약간만 상승시켰다. 이는 Co 자유층에서 Fe 원자의 국부화된 포텐셜로 인한 스핀 의존적 산란이 불순물에 의한 산란보다 스핀밸브의 자기저항 반응에 더 크게 기여하기 때문인 것으로 사료된다. 반면에 Ru  $\delta$ -layer가 삽입된 스핀밸브는 GMR 값이 대폭 감소되었으며 이를 통하여 Ru이 벌크에서의 스핀 의존 산란을 방해한다는 것을 확인하였다.

#### 6. 참고문헌

- [1] B. Dieny, V. S. Speriosu, J. P. Nozieres, S. S. P. Parkin, B. A. Gurney, D. R. Wilhoit and D. Mauri, Phys. Rev. B **43**, 1297 (1991).
- [2] D. E. Heim, R. E. Fontana, Jr., C. Tsang, V. S. Speriosu, B. A. Gurney and M. L. Williams, IEEE Trans. Magn. **30**, 316 (1994).
- [3] P. Zhan, J. Binder, I. Mertig, R. Zeller and P. H. Dederichs, Phys. Rev. Lett. **80**, 4309 (1998).
- [4] C. H. Marrows and B. J. Hickey, Phys. Rev. B **63**, 220405(R) (2001).
- [5] J. Hong, J. Kane, J. Hashimoto, M. Yamagishi, K. Noma and H. Kanai, IEEE Trans. Magn. **38**, 15 (2002).
- [6] J. M. George, L. G. Pereira, A. Barthelemy, F. Petroff, L. Steren, J. L. Duvail, A. Fert, R. Loloee, P. Holody and P. A. Schroeder, Phys. Rev. Lett. **72**, 408 (1994).
- [7] K. Rahmouni, A. Dinia, D. Stoeffler, K. Ounadjela, H. A. M. Van den Berg and H. Rakoto, Phys. Rev. B **59**, 9475 (1999).
- [8] H. A. M. Van den Berg, *Magnetic Multilayers and Giant Magnetoresistance*, ed. U. Hartmann (Springer, Berlin, 1999) p. 215.
- [9] Y. Saito and K. Inomata, Jpn. J. Appl. Phys. **30**, L1733 (1991).
- [10] Y. Kamiguchi, K. Saito, H. Iwasaki, M. Sahashi, M. Ouse and S. Nakamura, J. Appl. Phys. **79**, 6399 (1996).