

미소산소층과 Cu 전도향상층을 이용한 Spin-Filter Specular 스핀밸브

숙명여대 황재연*, 전경인, 김미양, 이창로
상지대 이상석, 황도근, 충북대 유성초, 청주대 이수형

Spin-Filter Specular Spin Valves with Nano-Oxide Layers and Cu Enhancing Conduction Layer

Sookmyung Women's Univ. J. Y. Hwang*, K. I. Jun, M. Y. Kim and J. R. Rhee
Sangji Univ. S. S. Lee and D. G. Hwang, Chungbuk National Univ., S. C. Yu, Chongju Univ. S. H. Lee

1. 서 론

스핀밸브(spin valve; SV)/거대자기저항(giant magnetoresistance; GMR)헤드를 이용한 100 Gbit/in² 이상의 자기기록밀도를 실현하기 위해서는 높은 자기저항을 가지면서 자유층의 두께를 줄이는 것이 필수적이다[1]. 기존의 스핀밸브(traditional SV; TSV) 구조는 자유층의 두께를 줄임에 따라서 스핀 up 전자와 스핀 down 전자 사이의 평균자유행로(mean free path) 차의 감소로 인해 자기저항비가 감소하는 문제를 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 미소산소층(nano-oxide layer; NOL)과 Cu 전도향상층(enhancing conduction layer)[2,3]을 삽입한 Ta/NiFe/IrMn/CoFe/NOL1/CoFe/Cu/CoFe/Cu/NOL2/Ta 구조의 스핀필터 스펙큘라 스핀밸브(SFSSV; spin-filter specular SV) 박막을 제작하여 MR비의 Cu 전도향상층 및 자유자성층 두께 의존성을 조사하고 자유층의 연자성 특성 개선에 관하여도 조사하고자 한다.

2. 실험방법

6개의 타겟이 장착된 마그네트론 dc 스퍼터링 장치를 사용하여 SiO₂가 coating된 Si(100) 기판 위에 Ta(3nm)/NiFe(2nm)/IrMn(7nm)/CoFe(1nm)/(NOL1)/CoFe(2nm)/Cu(1.8nm)/CoFe(*t_F*)/Cu(*t_{SF}*)/(NOL2)/Ta(3.5nm) 구조의 SFSSV를 제작하였다. 초기 진공도는 2×10⁻⁸ Torr 이하이며 Ar 부분압력은 2 mTorr로 하였으며 강자성층에 유도자기이방성을 형성하기 위하여 기판 평면과 평행한 방향으로 자기장 100 Oe를 걸어주었다. 미소산소층은 O₂ 2 sccm에 Ar 8 sccm을 혼합하여 작업분압 2 mTorr에서 3분 동안 노출시켜 제작하였다. 스퍼터링 후 IrMn에 의한 교환결합자기장(exchange coupling field; *H_{ex}*)을 유도하기 위하여 진공도 8×10⁻⁷ Torr에서 1 kOe를 걸어주고 210 °C에서 1시간 동안 진공 열처리하였다. SFSSV 박막의 MR 곡선은 4탐침법을 사용하였고, 자기적 특성은 VSM으로 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 각각 SFSSV Si/SiO₂/Ta₃/NiFe₂/IrMn₇/CoFe₁/(NOL1)/CoFe₂/Cu_{1.8}/CoFe_{1.5}/Cu_{1.0}/(NOL2)/Ta_{3.5}와 TSV Ta₃/NiFe₂/IrMn₇/CoFe₃/Cu_{1.8}/CoFe₄/Ta_{3.5}의 대표적인 MR 곡선이다. SFSSV의 경우 CoFe 자유층의 두께가 1.5 nm으로 감소하여도 11.9%의 높은 MR비와 *H_{ex}*=410 Oe를 나타내며, 층간결합자기장(interlayer coupling field; *H_{int}*)과 자유층의 보자력(coercivity of the free layer; *H_{cf}*)은 각각 -3.5 Oe, 3.6 Oe를 나타낸다. 이와 비교하여 TSV의 경우 MR비는 3.6%, *H_{ex}*=335 Oe를 나타내며, *H_{int}*와 *H_{cf}*는 각각 -16 Oe, 11 Oe로 나타났다.

Fig. 2는 SFSSV 구조인 Ta₃/NiFe₂/IrMn₇/CoFe₁/(NOL1)/CoFe₂/Cu_{1.8}/CoFe(*t_F*)/Cu(*t_{SF}*)/(NOL2)/Ta_{3.5}에서 CoFe 자유층 두께에 따른 MR비의 변화를 나타낸 것이다. *t_F*가 1.0 nm로 감소하여도 10% 이상의 높은 MR비를 유지하고, *t_F*=1.5 nm일 경우 *t_{SF}*=1.0 nm일 때 11.9%의 극대 MR비를 나타낸다. 자유층의 두께가 1.0 nm보다 감소하면 MR비가 감소하는 경향을 보이지만 자유층의 두께가 0.5 nm로 감소할 때 *t_{SF}*의 두께가 1.0 nm 보다 두꺼운 시료의 경우에는 MR비가 거의 유지됨을 알 수 있다. 따라서 자유층의 두께가 얇은 경우에도 Cu 전도향상층 삽입에 의해 MR비가 개선됨을 알 수 있다.

Fig. 3은 SFSSV의 자유층 두께 변화에 따른 *t_F*의 변화를 나타내고 있다. 210 °C에서 10시간 열처리 후에도 자유층의 두께가 1~3 nm일 때 보자력은 약 3 Oe 정도로 나타난다. 결과적으로 Cu 전도향상층이 없는 스펙큘라 스핀밸브의 경우에는 자유층에 인접한 미소산소층에 의한 자유층의 산화로 *H_{cf}*가

증가하는데 반해, Cu 전도향상층을 삽입함으로써 CoFe와 Cu 사이의 원자 섞임(atomic intermixing)을 방지하여 자유층의 경자성 특성이 개선되는 것으로 생각된다.

4. 결 론

Cu 전도향상층이 삽입된 SFSSV 구조에서 MR비의 주목할만한 개선 효과가 있음을 알 수 있었다. 자유층의 두께가 1 nm로 감소하여도 MR비는 10% 이상을 유지하였으며, t_F 와 t_{SF} 가 각각 1.5 nm, 1.0 nm일 때 최고 11.9%의 MR비를 나타냈다. 또한 210 °C에서 10시간 열처리 후에도 자유층의 두께가 1~3 nm일 때 약 3 Oe의 보자력을 보임으로써 Cu 전도향상층 삽입으로 MR비는 물론 자유층의 경자성 특성 또한 개선됨을 알 수 있다.

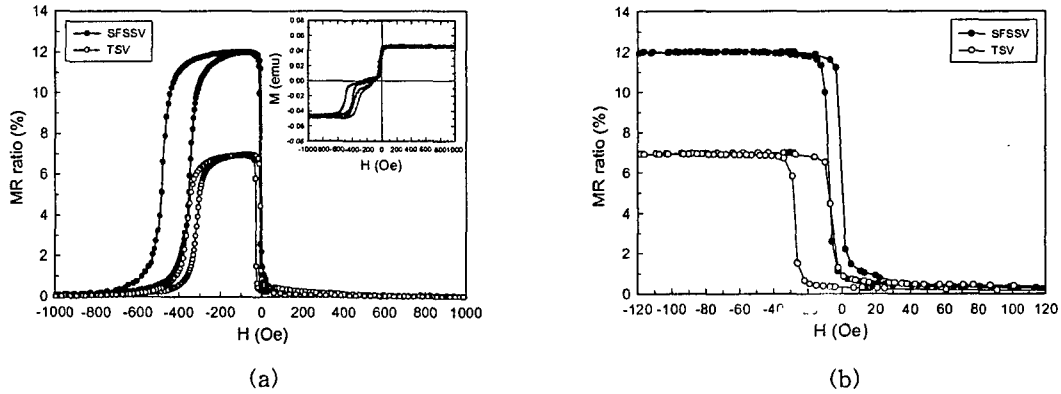


Fig. 1. MR curves for spin-filter specular spin valve Si/SiO₂/Ta₃/NiFe₂/IrMn₇/CoFe₁/(NOL1)/CoFe₂/Cu_{1.8}/CoFe_{1.5}/Cu_{1.0}/(NOL2)/Ta_{3.5} (in nm) and traditional spin valve Ta₃/NiFe₂/IrMn₇/CoFe₃/Cu_{1.8}/CoFe₄/Ta_{3.5} at high field (a) and at low field (b). The inset graph of the (a) shows M-H loop.

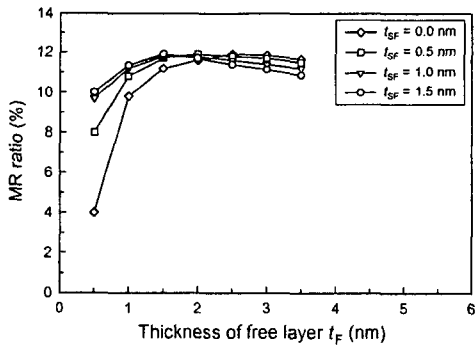


Fig. 2. MR ratio as a function of t_F for spin-filter specular spin valve Ta₃/NiFe₂/IrMn₇/CoFe₁/(NOL1)/CoFe₂/Cu_{1.8}/CoFe(t_F)/Cu(t_{SF})/(NOL2)/Ta_{3.5}.

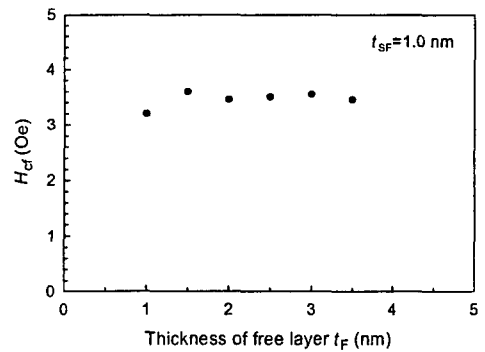


Fig. 3. H_{ct} as a function of t_F for spin-filter specular spin valve Ta₃/NiFe₂/IrMn₇/CoFe₁/(NOL1)/CoFe₂/Cu_{1.8}/CoFe(t_F)/Cu₁/(NOL2)/Ta_{3.5}.

5. 참고문헌

- [1] R. E. Fontana, Jr., S. A. MacDonald, H. A. A. Santini, and C. Tsang, IEEE Trans. Magn. **35**, 806 (1999).
- [2] Y. Huai, G. Anderson, and M. Pakala, J. Appl. Phys. **87**, 5741 (2000).
- [3] M. Uneno, H. Nishida, K. Mizukami, F. Hikami, K. Tabuchi, and T. Sawasaki, IEEE Trans. Magn. **36**, 2572 (2000).