

Q-1

꼭대기형 합성형 반강자성 CoFe/Ru/CoFe/IrMn 스핀밸브박막의 열적안정성 및 자기저항 특성*

숙명여대 황재연, 전경인, 김미양*, 이장로
상지대 이상석, 황도근, 청주대 이수형

Thermal Stability and Magnetoresistance of Top Type Spin Valve with Synthetic Antiferromagnet CoFe/Ru/CoFe/IrMn*

Sookmyung Women's Univ. J.Y.Hwang, K.I.Jun, M.Y.Kim* and J.R.Rhe
Sangji Univ. S.S.Lee and D.G.Hwang, Chungju Univ. S.H.Lee

I. 서론

거대자기저항(GMR; giant magnetoresistance)현상을 이용하는 스핀밸브(SV; Spin Valve) 박막은 MR헤드의 읽어 내기헤드로 주목받고 있다. 그러나 이러한 기존의 SV(CSV; Conventional Spin Valve)구조는 헤드의 실제 작동온도인 100 °C 부근에서 교환결합력(H_{ex} ; exchange coupling field)이 급격히 감소하고 소자의 크기를 줄임에 따라 피속박자성층(pinned layer)에 의해 생기는 반자장(demagnetization field)과 정자장(magnetostatic field) 때문에 MR 민감도(sensitivity)가 저하되는 것이 큰 문제점으로 지적되고 있다. 이 문제점을 해결하기 위해 제안된 것이 기존의 CSV에서 한 층의 강자성층만을 가진 피속박층 대신 강자성층/비자성층/강자성층 구조의 피속박층을 갖는 합성형 반자성(SAF; Synthetic Antiferromagnet) SV구조이다. 이러한 SAF SV는 기존의 CSV에 비하여 높은 열적 안정성과 자기적 동작특성을 나타낸다[1,2]. SAF SV는 피속박층으로 다층박막 [강자성층/비자성층]의 제 1반강자성 교환력을 사용함으로써 교환이방성에너지를 증가시킬 수 있으며 반강자성 교환결합에 의한 자성층의 자화를 거의 0으로 줄임이 가능하여 반자장이 자유층에 미치는 영향을 줄일 수 있어 높은 동작특성을 나타낼 수 있으며, 또 다른 장점은 센서의 자기적 안정성을 갖게 해주는 큰 유효교환속박자기장(H_{ex} ; effective exchange pinning field)를 갖는다는 점이다.

본 연구에서는 SAF로 $Co_{75}Fe_{25}/Ru/Co_{75}Fe_{25}/Ir_{25}Mn_{75}$ 를 사용하여 SiO_2 가 coating된 Si(111)기판에 스퍼터링 방법으로 제작한 $Si/SiO_2/Ta/NiFe/CoFe/Cu/CoFe/Ru/CoFe/IrMn/Ta$ 구조의 SV에 대하여 열적 특성, 그리고 MR비, 포화 자기장(H_s ; saturation magnetization) 및 H_{ex} 의 Ru 두께와 피속박층의 두께 의존성을 조사해 본다.

II. 실험방법

6개의 타겟이 장착된 마그네트론 dc 스퍼터링 장치를 사용하여 $1\mu m$ SiO_2 가 coating된 Si(111)기판에 증착율 0.5~1.0 Å/s로 연속적으로 증착하여 $Si/SiO_2/Ta_{20}/NiFe_{20}/CoFe_{20}/Cu_{22}/CoFe_{25}/Ru(t)/CoFe_{22}/IrMn_{40}/Ta_{20}$ (Å 두께단위)구조의 SV를 제작하였다. 여기에서 속박층, 피속박층, 자유층은 각각 합금타겟 $Ir_{25}Mn_{75}$, $Co_{75}Fe_{25}$, $Ni_{20}Fe_{80}$ 를 사용하였고 초기 진공도는 2.2×10^{-8} Torr 이하이며 Ar 부분압력은 2 mTorr로 하였으며, 기판 평면과 평행한 방향으로 자기장 100 Oe를 걸어 주었다. 속박층과 피속박층 사이에 교환결합자기장을 유도하기 위하여 진공도 8×10^{-7} Torr의 진공속에서 일방향 이방성자기장 1 kOe를 걸어주고 200 °C에서 1시간 동안 진공 후열처리 하였다. 또 열적 안정성 조사를 위하여 250 °C에서 10시간 동안 진공 열처리하였다. SV 박막의 MR곡선은 4탐침법을 사용하였고 XRD와 AFM으로 결정구조 및 표면 분석을 하였다.

III. 실험결과 및 고찰

Fig. 1 (a), (b)는 각각 SAF SV $Si/SiO_2/Ta_{20}/NiFe_{20}/CoFe_{20}/Cu_{22}/CoFe_{25}/Ru_6/CoFe_{22}/IrMn_{40}/Ta_{20}$ 구조의 M-H곡선과 대표적인 MR곡선이다. 모든 자화가 포화자기장 H_s (두 반자성결합 CoFe/Ru/CoFe 층들을 한쪽 평행방향으로 정렬하는데 필요한 자기장)에서 평행으로 정렬하는 고자기장 GMR곡선을 나타내며 MR비는 4.5%이다. 두 자성층 CoFe (P_1 는 AFM층에 인접한 층, P_2 는 Cu사이층에 인접한 층)과 자유자성층의 자화 배치 방향이 표시되어 있다. P_1 층과 P_2 층 사이의 MR변화에 의한 효과 약 1%가 측정된 MR비에 포함되어 있다. Fig. 1 (b)의 삽입그림은 저자기장 MR곡선이며 최대 4.3% MR비를 보이며, 여기에서 최대 MR비 유지구간은 약 200 Oe정도임을 알 수 있다. H_{ex} (MR곡선에서 최대 MR비가 1/2인 값에 해당하는 자기장의 크기)는 500 Oe이며, $Si/SiO_2/Ta_{20}/NiFe_{20}/CoFe_{20}/Cu_{22}/CoFe_{25}/Ru(t)/CoFe_{22}/IrMn_{40}/Ta_{20}$ 구조의 CSV의 $H_{ex}=200$ Oe와 비교된다. 여기에서 비교적 큰 H_{ex} 는 매우 얇은 유효 피속박층 두께 (반강자성으로 결합한 CoFe층들의 두께차; $\Delta t_p=t_{p2}-t_{p1}$) 때문에 생기는 것이다.

SAF CoFe/Ru/CoFe/IrMn에서 Ru두께에 따른 MR비와 H_s 의 변화가 Fig. 2 (a)에 나타나 있다. AF 교환결합 영역으로 생각되는 t_{Ru} 가 4~10 Å영역에서는 4 Å에서 극대 H_s 를 가진 후 Ru두께 증가에 따라 감소한다. MR비는 6 Å에서 극대를 이루다가 Ru두께 증가에 따라 감소하며, H_s 감소와 관련이 있는 것으로 생각된다. Fig. 3 (b)는 피속박층들의 두께차 $\Delta t_p=3$ Å로 고정시킨 상태에서 MR비와 H_{ex} 의 t_{p1} 와 t_{p2} 의존성을 나타낸 그림이다. $t_{p1} \sim 22$ Å에서 극대 MR비가 관측되며 t_{p1} 증가에 따라 완만하게 감소한다. H_{ex} 는 t_{p1} 이 증가할수록 감소하는 경향을 보이는데 이것은 H_{ex} 가 P_1 과 P_2 층 사이의 AF 층간교환결합의 포화자기장 H_s 를 반영한다는 사실로부터 이해될 수 있다. 즉 H_s 가 관계식 $H_s \sim J_{AF}/(M_s t_{p1})$ (M_s 와 J_{AF} 는 AF 층간교환결합의 포화자화도와 강도이다)에 따라 CoFe층 두께에 역비례하기 때문이다. Fig. 3 (a), (b)는 각각 IrMn SAF SV와 CSV사이의 열적 안정성을 비교하기 위하여 진공도 8×10^{-7} Torr에서 자기장 2 kOe로 250 °C에서 10 h 진공열처리한 후 측정된 MR곡선들을 나타낸다. 두 시료는 각각 RT MR비 4.2% 및 3.3%를 나타내며 SAF SV가 $H_{ex} \sim 550$ Oe를 갖는 열적 안정성을 나타내는 MR곡선을 보이거나 CSV는 고밀도기록헤드 응용에 바람직한 값이 못되는 $H_{ex} \sim 150$ Oe를 갖는 이력성 MR곡선을 나타내었다.

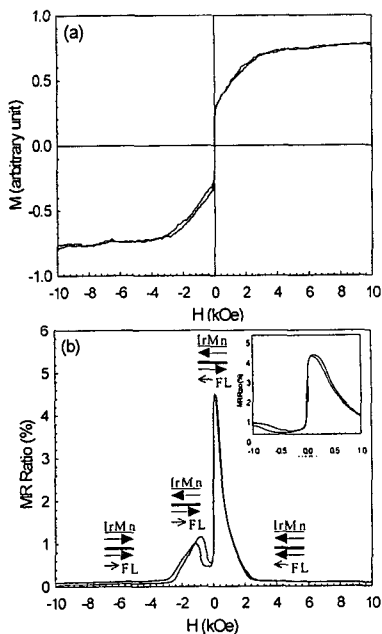


Fig. 1. M-H loop (a) and MR curve (b) of for Ta20/NiFe20/CoFe20/Cu22/CoFe25/Ru6/CoFe22/IrMn40/Ta20 (in A). The inset in (b) shows a low-field MR curve.

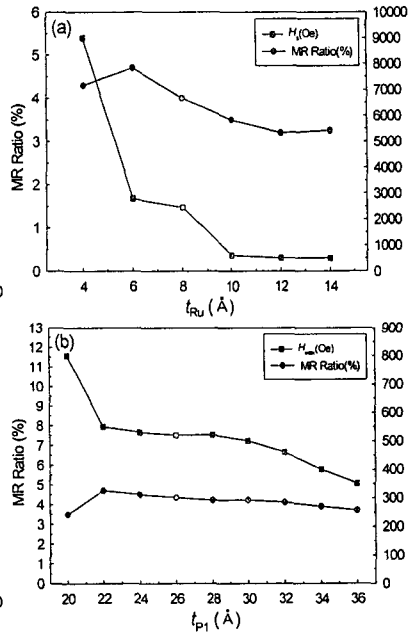


Fig. 2. (a) MR versus t_{Ru} for Ta20/NiFe20/CoFe20/Cu22/CoFe25/Ru(t)/CoFe22/IrMn40/Ta20 (in A). (b) MR and H_{ex} versus t_{p1} for Ta20/NiFe20/CoFe20/Cu22/CoFePy/Ru6/CoFePy/IrMn40/Ta20 (in A), where $\Delta t_p = t_{p2} - t_{p1} = 3$ Å.

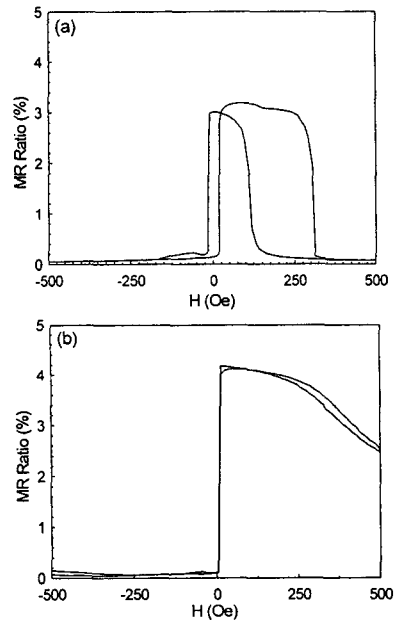


Fig. 3. MR curves of (b) the SAF SV Ta20/NiFe20/CoFe20/Cu22/CoFe25/Ru6/CoFe22/IrMn40/Ta20 (in A), and (a) CSV Ta20/NiFe20/CoFe20/Cu24/CoFe25/IrMn40/Ta20 (in A) after annealing at 250 °C for 10h in a field of 2 kOe.

IV. 결론

본 실험에서 제작한 SAF CoFe/Ru/CoFe/IrMn을 갖는 SV구조에서는 MR비가 4.5%이고 H_{ex} 가 600 Oe로 아직은 미흡하나, 각 층의 두께 최적화 실험을 통하여 이 값들의 향상의 여지를 기대해 본다. 그러나 SAF SV 구조에서는 $t_{Ru}=6$ Å로 분리된 CoFe 층 사이의 강한 층간결합이 온도 250 °C에서 장시간 열처리 후에도 유지되는 열적 안정성을 보임을 확인하였다.

V. 참고문헌

- [1] J. L. Leal and M. H. Kryder, J. Appl. Phys. 83, 3720 (1998).
- [2] H. Berg, W. Clemens, G. Gieres, G. Rupp, W. Schelter, and M. Vieth, IEEE Trans. Magn. 32, 4624 (1996).

*This work was supported by the Ministry of Science and Technology under the grant number M10022010001-01G050600110