

숙명여대 황재연\*, 김순섭, 김미양, 이장로  
 삼성종합기술연구원 김태완, 박완준  
 고려대학교 전병선, 김영근  
 상지대 이상석, 황도근

## Dependence of surface roughness of the bottom electrode on magnetoresistance in MTJ with synthetic antiferromagnetic pinned layer

Sookmyung Women's Univ. J. Y. Hwang\*, S. S. Kim, M. Y. Kim, and J. R. Rhee  
 Samsung Advanced Institute of Technology Taewan Kim, Wanjun Park  
 Korea Univ. Byong Sun Chun, Young Keun Kim  
 Sangji Univ. S. S. Lee and D. G. Hwang

### I. 서론

터널자기저항(tunneling magnetoresistance: TMR)을 이용한 자기터널링접합(magnetic tunneling junction: MTJ) 소자는 그 자체가 높은 TMR비를 갖고 있어서 고밀도 자기 재생헤드(read head)와 비휘발성 자기메모리(magnetic random access memory: MRAM)로서의 응용가능성과 그 우수한 특성 때문에 많은 연구가 진행되고 있다 [1, 2].

본 연구에서는 속박층(pinning layer)에 반강자성체  $\text{Ir}_{22}\text{Mn}_{78}$ 과 피속박자성층(pinned layer)에 합성형 반강자성(synthetic antiferromagnetic: SAF)  $\text{CoFe/Ru/CoFe}$ 를 사용하여 하부 전극층의 표면거칠기를 달리하면서  $\text{SiO}_2/\text{Ta/Ru/IrMn/CoFe/Ru/CoFe/Al-O/CoFe/NiFe/Ru}$  형태의 스핀밸브(spin valve: SV)형 터널링접합을 스퍼터링과 리소그래피 방법으로 제작하고 이 접합의 절연층 장벽 형성을 통한 TMR비의 저항 $\times$ 단면적(RA)의 플라즈마 산화시간, RA의 절연막 두께 의존성을 조사하여 극대화 제작 조건을 구하고 하부층 전극의 표면거칠기에 따라 달라지는 MTJ의 터널장벽층의 표면거칠기 의존성 특성, 이들 접합 소자의 I-V 곡선의 비선형적 거동을 통한 MTJ의 터널링 특성 등을 조사하였다.

### II. 실험방법

피속박층으로 합성형 반강자성구조를 사용하여  $\text{SiO}_2$ 가 coating된 Si(100) 기판 위에 증착율 0.5~1.0 Å/s로 하여  $\text{SiO}_2/\text{Ta/Ru/IrMn/CoFe/Ru/CoFe/Al-O/CoFe/NiFe/Ru}$  구조를 갖는 자기터널접합 소자를 photolithography로 제작하였다. TMR 소자를 형성할 기판은 누설 전류를 차단하기 위해 1000 Å의 열산화막이 형성된 직경 10 cm의 P-형(100) Si wafer를  $1.5 \times 3.0$  cm의 크기로 절단하고 표면의 유기물이나 이물질을 제거하기 위해 트리클로에틸렌( $\text{CHCl}_3$ )에 담가 먼저 30분간 초음파 세척 후 계속하여 아세톤과 에탄올로 초음파 세척하여 사용하였다.

6개의 타겟이 장착된 메인 챔버와 load-lock 챔버를 갖는 마그네트론 rf 및 dc 스퍼터링 장치를 사용하여 초기진공도  $2.0 \times 10^{-8}$  Torr 이하에서 Ar 부분압력 2 mTorr로 하여 증착하였다. 합금타겟은  $\text{Ir}_{22}\text{Mn}_{78}$ ,  $\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}$ ,  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 을 사용하였으며 강자성층에 유도자기이방성을 형성하기 위하여 자기장 100 Oe를 걸어주었다. 각 시료는 증착 후 진공도  $8.0 \times 10^{-7}$  Torr에서 속박층와 피속박층 사이에 교환결합자기장(exchange coupling field:  $H_{ex}$ )을 유도하기 위하여 자기장 1 kOe를 걸어주며 진공열처리하였다.

절연막을 형성하기 위해 메인 챔버에서 Al 금속을 13 Å 증착 후 시료를 진공도  $1.2 \times 10^{-7}$  Torr 이하의 load-lock 챔버로 옮겨  $\text{O}_2$  유량이 일정량 유지되게 조절하여 산화 시간과 산화 전력을 변화시켜가며 rf 플라즈마 산화법 [3, 4]으로 산화시켰다. Four-point probe를 사용하여 즉 외부자기장을 변화시키면서 하부자성층 단자의 한쪽과 상부자성층 단자의 한쪽을 연결하여 전류를 흐르게 한 후 나머지 2개의 단자에서 전압을 측정하는 방법으로 MR비와 기준저항을 측정하였다. 절연층 제작 시 플라즈마 산화시간을 달리하여 완성된 MTJ 소자의 수직단면을 TEM으로 관찰하였다.

### III. 연구결과 및 고찰

Fig. 1(a)는 제작된 MTJ 중에서 장벽층이 거친 접합면적이  $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ 인 MTJ에 대한 접합저항과 전류의 전압의존성을 나타낸 것이다. RA는  $2.2 \text{ k}\Omega\mu\text{m}^2$ 이며 100 mV일 때 MR비는 4%를 보여주며 I-V 곡선은 거의 선형적이다. 장벽층이 거칠고 균일하지 못한 경우 소자의 극대 MR비와 RA를 얻기가 어려울 수 있다.

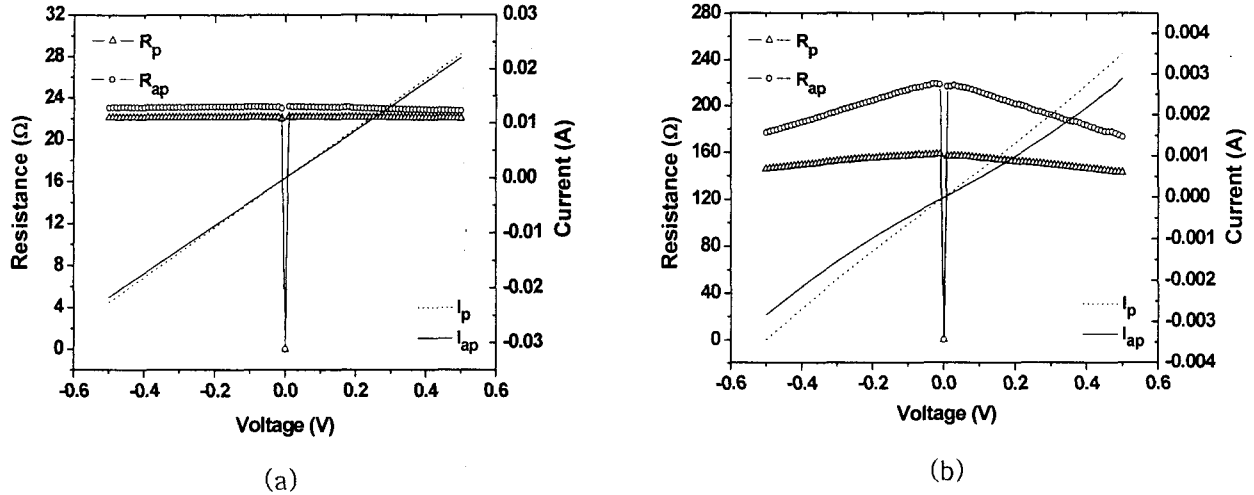


Fig. 1. Voltage dependence of current and resistance for MTJ with (a) rough tunnel barrier and (b) uniform tunnel barrier.  $I_p$  and  $I_{ap}$  show the current of MTJ when magnetization vectors among the pinned ferromagnetic/barrier/free ferromagnetic layer are parallel and antiparallel, respectively.

반면 Fig. 1(b)에서는 장벽층의 두께가 균일하여 균일한 터널장벽을 갖는 MTJ에서는 RA가  $14 \text{ k}\Omega\mu\text{m}^2$ 으로 bias전압 100mV에서 TMR비 40%를 보여준다.  $R_{ap}$ 가  $R_p$ 보다 큰 값을 나타내는 것도 알 수 있다. 또 I-V 곡선에서도 비선형적 거동을 알 수 있다.  $I_p$ 가  $I_{ap}$ 는 각각 자성층의 자화방향이 평행한 경우와 반평행한 경우에서의 전류를 나타낸다. 따라서 측정된 I-V 곡선을 사용하여 Simmon's fitting한 유효장벽의 폭과 유효장벽의 높이는 각각 11.8 Å, 4.65 eV와 14.5 Å, 3.04 eV임을 알 수 있다. 이 값들은 실제 터널장벽의 두께와 오차범위 내에 있음을 알 수 있다.

#### IV. 결론

1. MTJ의 TMR비와 저항×단면적(RA)의 절연층 장벽 제작 시의 플라즈마 산화시간 의존성 측정으로부터 약 8 Å의 Al층에 플라즈마 산화법으로 10 kΩ이하의 저항을 얻기 위하여 대략 10초의 산화시간이 필요하다.
2. 제작한 MTJ의 저항×단면적의 터널장벽 절연층  $\text{Al}_2\text{O}_3$  두께 의존성 측정으로부터 RA가  $10 \text{ k}\Omega\mu\text{m}^2$  정도가 되기 위해서는  $\text{Al}_2\text{O}_3$  장벽층의 두께는 12.5~14 Å 정도가 되었다.
3. 절연층 장벽  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 의 두께를 13 Å로 하여 제작한 극대화된 MTJ의 bias전압 100 mV에서 TMR비 45%를 나타낸다.
4. 균일한 터널장벽을 가진 MTJ 일수록 MR비와 저항이 더 높아지고 반면에 층간결합장은 더 줄어드는 것을 알 수 있었다. 장벽층이 거칠고 균일하지 못한 MTJ는 I-V곡선이 선형적이었으며 반면 균일한 터널장벽을 갖는 MTJ는 I-V곡선의 비선형적 거동을 알 수 있었으며 Simmon's equation으로 fitting하여 구한 유효장벽의 폭과 장벽의 높이가 각각 14.4 Å와 3.07 eV가 되어 실제 터널 장벽의 두께와 오차범위 내에 있음을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] L. S. Moodera, L. R. Kinder, T. M. Wang, and R. Meservey, Phys. Rev. Lett. **74**, 3273 (1995)
- [2] W. J. Gallagher, S. S. P. Parkin, Yu. Lu, X. P. Bian, Am Marley, K. P. Roche, R. A. Altman, S. A. Rishton, C. Jahnes, T. M. Shaw and Gang Xiao, J. Appl. Phys. **81**, 3741 (1977).
- [3] J. S. Moodera, L. R. Kinder, J. Appl. Phys. **79**, 4724 (1996).
- [4] M. Sato, H. Kikuchi and K. Kobayashi, J. Appl. Phys. **83**, 6691 (1998).