**P-10**

# Effect of barrier materials on the properties of magnetic tunnel junctions

한국과학기술원 박 병 국*, 임 우 창, 배 지 영, 이 택 동

## 1. 서론

Magnetic tunnel junction에서는 spin의 tunneling이 가장 기본적인 현상이기 때문에 tunnel junction의 특성은 tunnel barrier의 성질에 크게 의존한다. Tunnel barrier로는 지금까지 $Al_2O_3$가 주로 사용되고 있다. 하지만 $Al_2O_3$의 경우는 barrier height가 2-3 eV로 높기 때문에 저 저항의 tunnel junction을 형성하기 위해서는 Al의 두께가 1nm 이하로 낮아져야 한다. 따라서 이를 극복하기 위해서 $Al_2O_3$ 보다 낮은 barrier height를 갖는 절연막을 tunnel barrier로 사용하고자 하는 연구가 많이 진행되고 있다 (예를 들면 TaOx [1], ZrOx [2], GaOx [3], and HfOx [4]).

본 연구에서는 Hf oxide 또는 modified Hf oxide를 tunnel junction의 절연막으로 사용하였다. Hf oxide의 경우, $Al_2O_3$에 비해서 낮은 band gap (5.6 eV) 그리고 높은 heat of formation (-268 Kcal/mol)을 가지기 때문에 Hf oxide를 가진 tunnel junction의 경우 낮은 barrier height, 즉 낮은 저항과 안정한 절연막을 형성할 것으로 기대 되었다.

## 2. 실험 방법

Tunnel junction의 구조는 Si/$SiO_2$/Ta (5 nm)/NiFe (8 nm)/IrMn (20 nm)/CoFe (4 nm)/Hf oxide (1.4 nm) or modified Hf oxide/CoFe (3 nm)/NiFe (15 nm)/Ta (5 nm)이며 각 tunnel barrier는 Hf (1.4 nm), Al (0.3 nm) – Hf (1.1 nm), Hf (1.1 nm) – Al (0.3 nm), 또는 Al (0.3 nm) – Hf (0.8 nm) – Al (0.3 nm) 층을 증착 후에 오존을 이용하여 산화 시켰다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

Hf oxide를 가진 tunnel junction은 상온에서 약 13%의 자기저항비를 보였으며 barrier height는 약 1.3 eV를 보였다. 낮은 barrier height는 저저항의 tunnel junction을 위해서는 유리하지만 tunnel barrier로 사용하기에는 자기저항비가 너무 낮은 값을 보였다. Hf oxide를 tunnel barrier로 가진 경우의 낮은 자기저항을 보이는 이유를 알아보기 위해서 산화전의 Hf 층에 Al을 약 0.3 nm 정도 첨가하여 tunnel barrier를 수정하였다.

그림 1은 각각의 tunnel barrier를 가진 tunnel junction의 열처리 온도에 따른 자기저항 값을 보여주고 있다. tunnel barrier가 Al-Hf oxide, Hf-Al oxide, 그리고 Al-Hf-Al oxide로 변함에 따라 자기저항비가 각각 21%, 28%, 그리고 32%로 증가하였다. Al층을 양쪽 계면에 첨가한 tunnel junction의 경우의 자기저항비는 Al oxide를 사용한 tunnel junction과 거의 같은 자기저항비를 보여주고 있다. 자성층과 인접한 tunnel barrier가 변함에 따라 자기 저항비도 같이 변하고 있다. 이렇게 다른 자기저항비를 보이는 이유를 분석하기 위해서 자

기저항을 30 K에서 측정하여 보았다. 낮은 온도에서는 tunneling에 열에너지에 의한 spin 반전 효과를 최소로 할 수 있기 때문에 자기저항비가 주로 spin polarization에 의존한다. 30 K에서 측정한 결과 상온에서 측정한 결과와 같은 경향을 보여주었다. 이 결과로 인접한 barrier에 따라 자성층의 spin polarization이 다른 값을 보이며 그에 따른 다른 자기저항비를 보이는 것으로 판단된다 [5].

그림 2는 각 tunnel barrier에 따른 자기저항의 bias-voltage 의존도를 보여주고 있다. 그림에서 보면 Al층을 위쪽 계면에 첨가했을 경우 bias-voltage 의존도가 양의 방향에서 완화되는 것을 볼 수 있다. 하지만 음의 방향은 Hf oxide와 같은 의존도를 보여주고 있다. Al 층을 아래쪽 계면에 첨가하였을 경우는 반대의 현상을 보여주고 있다. 즉 Al층이 첨가 되었을 경우 첨가된 방향의 bias voltage 의존도가 완화됨을 알 수 있다. 각각의 경우에 측정 방향에 따른 i-v 곡선을 분석한 결과 Al 층이 첨가 되면 그 쪽의 barrier height가 높아지는 결과를 얻었다. 이러한 실험 결과로부터 tunnel junction에서 절연층에 따라 자기저항비와 자기저항비의 bias-voltage 의존도가 다름을 알 수 있었고 그 원인으로는 tunnel barrier에 의해서 자성층의 spin polarization과 barrier height가 영향을 받기 때문으로 판단된다.

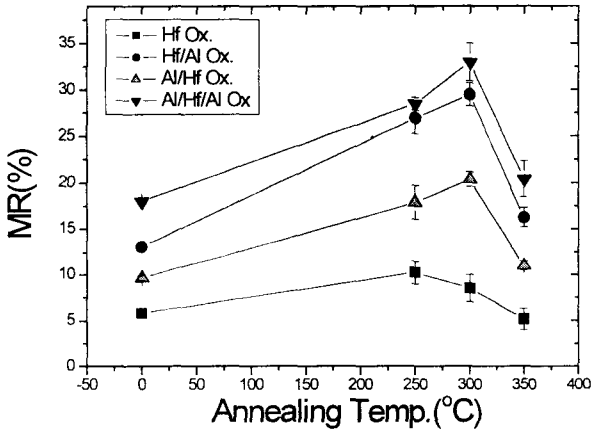


Figure 1. TMR ratio as a function of annealing temperature in magnetic tunnel junction with Hf oxide (square), Al-Hf oxide (solid circle), Hf-Al oxide (open circle), and Al-Hf-Al oxide (triangle).

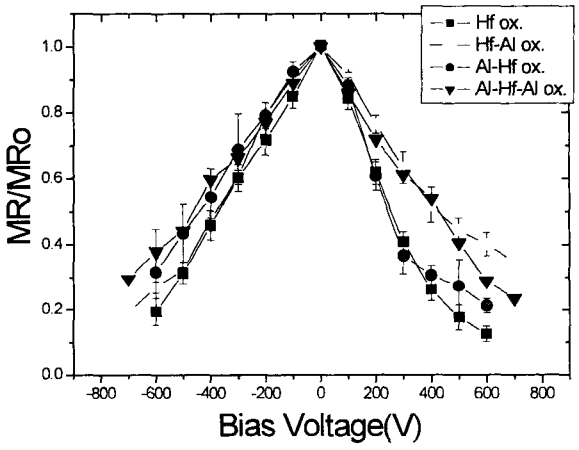


Figure 2. Bias-voltage dependence of the TMR for junctions with Hf oxide (square), Al-Hf oxide (solid circle), Hf-Al oxide (open circle), and Al-Hf-Al oxide (triangle).after 300 °C annealing.

## 4. 참고 문헌


[1] P. Rottlander, M. Hehn, O. Lenoble, and A. Schuhl, Appl. Phys. Lett. **78**, 3274 (2001).

[2] J. Wang, P. P. Freitas, E. Snoeck, P. Wei, and J. C. Soares, Appl. Phys. Lett. **79**, 4387 (2001).

[3] Z. Li, C. de Groot, and J. S. Moodera, Appl. Phys. Lett. **77**, 3630 (2000).

[4] C. L. Platt, B. Dieny, and A. E. Berkowitz, J. Appl. Phys. **81**, 5523 (1997).

[5] J. M. De Teresa, A. Barthelemy, A. Fert, J. P. Contour, F. Montaign, P. Seneor, Science, **286**, 507 (1999)