

Fabrication of Tunneling Magnetoresistive Devices by Using Carbon Nanotube Tunnel Barrier

Chonbuk National University  
 KRISS

Jae-Ryoung Kim, Jeong-O Lee, Hye-Mi So,  
 Kicheon Kang, Ju-Jin Kim\*  
 Jinhee Kim, Kyung-Hwa Yoo

1. 서론

카본나노튜브(CNT, Carbon Nano Tube) 는 분자결정구조를 가진 저차원 전도체로서, 전자의 산란이 지극히 제한되는 이상적인 전도체로 알려져 있다 [1]. 특히 그 크기가 50 nm 이하이고 우수한 전기적 특성 때문에 나노스케일의 전자소자를 제작하는데 훌륭한 재료로 알려져 있다. 최근의 실험 결과에 따르면, 스핀산란길이 (spin-flip scattering length) 도 최소한 수백 nm 이상으로 관측되고 있어 나노스케일의 스핀소자를 만드는데 유용한 소재로 평가된다 [2]. 본 연구에서는 카본나노튜브의 긴 스핀산란길이를 이용하여 Co/CNT/Co, Co/CNT/Ni 로 이루어진 나노스케일 TMR (Tunneling Magneto-Resistance) 소자를 제작하고, 스핀 의존형 전도현상을 연구하였다. 제작된 소자는 hysteretic 자기저항 특성을 보여주었고, 투과자기저항비는 온도가 2.2 K 에서 16%, 8.5 K 에서 5% 로 측정되었다.

2. 실험 결과 및 결론

실험에 사용된 Co/CNT/Co(Ni) TMR 소자는 전자빔 식각법으로 제작되었다. 먼저 카본나노튜브를 실리콘 기판위에 스핀코터로 분산시켜 접착시킨후 원하는 CNT 를 선정 강자성체 물질인 두께 40 nm 의 Co, 또는 Ni 을 증착하였다. 그림 1(a) 은 제작된 스핀소자의 전자현미경 사진이다. 강자성체의 선폭은 200-500 nm 정도이고, 카본나노튜브의 직경은 약 30 nm, 저항단자 사이의 길이는 450 nm 이다. 그림에서 표시된 두 단자 사이의 자기저항을 lock-in 증폭기로 측정하였다. 자기장은 Co 박막에 수직방향으로 인가하였다. 그림 1(b) 는 제작된 소자의 전형적인 자기저항곡선을 보여준다.

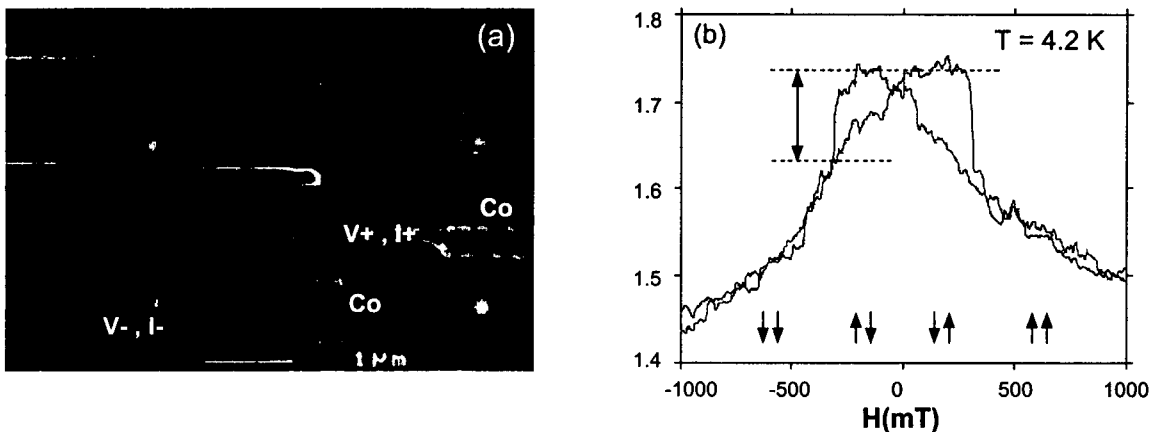


그림 1. (a) 제작된 카본나노튜브 스핀소자의 SEM 사진. (b) Co/CNT/Co 스핀소자의 전형적인 TMR 특성. 측정 온도는 4.2 K 이다.

카본나노튜브 자체의 자기저항 변화와 더불어 약 0.3 T 이하의 자기장에서 스핀반전에 의한 저항의 hysteresis 를 보여준다. 자기저항비,  $\Delta R/R$  은 그림에 표시된 바와 같이 hysteresis 가 시작되는 점을 기준으로 계산하였다. 기존의 TMR 소자들과는 달리 같은 종류의 강자성 물질들로 이루어진 소자에서 hysteric TMR 현상을 관측할 수 있는 것은, 투과장벽으로 사용되는 나노튜브의 작은 직경때문으로 생각된다. 사용된 나노튜브의 직경은 약 30 nm 로 강자성 박막 (선폭, 200nm - 500nm)의 grain 크기보다 작기 때문에 나노튜브에 접촉되어 있는 각 grain 들의 coercive force 는 서로 다른 값을 가질 수 있다. 이 차이 때문에 같은 종류의 강자성 물질로 이루어진 스핀소자에서도 hysteric TMR 현상을 관측할 수 있다. Ni/CNT/Co 로 이루어진 스핀소자에서도 비슷한 hysteric TMR 특성이 관측되었다. 이러한 TMR 현상의 관측은 Co/CNT 접합에 입사된 전자가 나노튜브내를 스핀반전 없이 최소한 나노튜브의 길이 만큼 (450 nm) 의 거리를 투과한다는 사실을 말해주고 있다. Co/CNT 접합에서 어느 정도의 불가피한 스핀반전이나, 산란현상을 고려하면 카본나노튜브 내에서 일어나는 산란은 이보다 훨씬 적을 것으로 판단된다.

그림 2(a) 는 온도에 따른 자기저항 곡선을 나타낸다. 온도가 감소함에 따라 zero-field 저항은  $T=8$  K 에서 약 100 k $\Omega$  으로부터  $T=2$  K 에서 1 M $\Omega$  정도로 늘어났다. 자기저항비는 그림 2(b) 에서와 같이 8.5 K 에서 5% 정도이던 것이, 온도가 감소함에 따라 증가하여 2.2 K 에서 16 % 정도까지 증가하였다. Co 의 경우 최대 spin polarization ( $P$ ) 이 34% 로 알려져 있으며, Julliere 의 자기저항비 식,  $\Delta R/R=2P_1P_2/(1+P_1P_2)$ , 에 의해 최대 자기저항비는 21 % 이다 [3]. 실험에서 관측된 16 % 의 자기저항비는 29.5 % 의 spin polarization 값에 해당하는 것으로, Co/CNT 접합에서 일어나는 스핀산란을 고려하면, 나노튜브내에서 일어나는 스핀산란은 극히 적다는 것을 의미한다.

따라서, 카본나노튜브는 최소한 수백나노미터 이상의 스핀산란길이를 가지고 있으며, 이를 이용한 나노스케일의 스핀전자소자 개발 가능성을 보여준다.

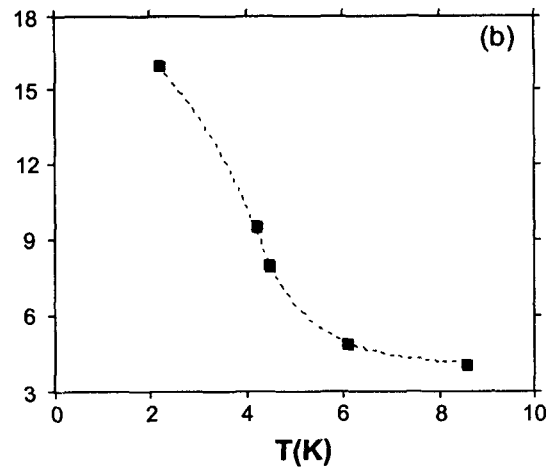
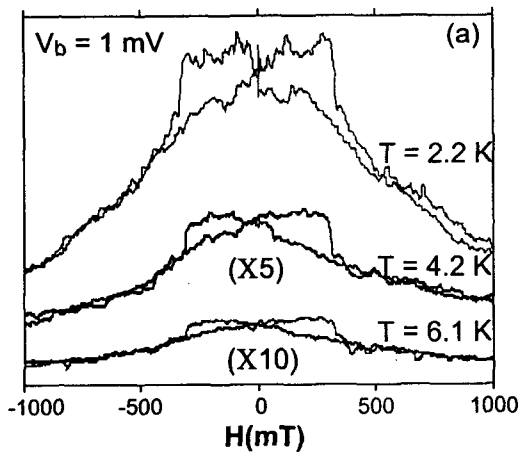


그림 2. (a) 온도변화에 따른 자기저항의 변화

(b) 온도의 변화에 따른 자기저항비의 변화

참고문헌

[1] C. Dekker, Phys. Today, May, 22 (1999); L. C. Venema, J. W. G. Wildoer, J. W. Janssen, S. J. Tans, H. L. J. T. Tuinstra, L. P. Kouwenhoven, C. Dekker, Science **283**, 52 (1999).  
 [2] K. Tsukagoshi, B. W. Alphenaar, H. Ago, Nature **401**, 572 (1999).  
 [3] M. Julliere, Phys. Lett. A **54**, 225 (1975).