

이중배리어 자기터널접합의 특성 측정을 위한 개선된 current-in-plane tunneling 모델

이상호*, 배태진, 홍종일
연세대학교 공과대학 신소재공학과

1. 서론

Current-in-plane tunneling (CIPT) 측정법[1]은 다양한 팁 간 거리를 가지고 있는 4-point probe 를 이용하여 자기터널접합(magnetic tunnel junction, MTJ)의 특성을 확인하는 방법이다. 최초의 CIPT 모델은 이중배리어 자기터널접합(double-barrier MTJ, DMTJ)의 특성을 분석하는 것이 불가능하였고, Clement[2]에 의해 DMTJ를 위한 CIPT 모델이 제안되었다. 이 모델로 DMTJ의 터널자기저항비(tunnel magnetoresistance, TMR)을 예측하는 것은 가능하였지만, 두 터널 배리어 층의 저항면적곱(resistance-area product)이 비슷한 경우에는 박막 전체의 정보를 얻어내는 것이 거의 불가능하였다. 본 연구에서는 DMTJ를 위한 CIPT 분석 모델을 개선하고 이를 통하여 박막의 특성을 정확하게 예측 가능함을 입증한다[3].

2. 실험방법

DMTJ 박막은 2×10^{-9} torr 미만의 진공도를 가진 UHV 스퍼터링 시스템을 이용하여 Ta 5/Ru 50/Ta 5/PtMn 15/CoFe 2.5/Ru 0.8/CoFeB 3/MgO 2.5 (barrier 2)/CoFeB 3/MgO 2.5 (barrier 1)/CoFeB 3/Ru 0.8/CoFe 2.5/PtMn 15/Ta 5/Ru 10 nm의 구조로 증착하였다. 필자가 기존에 제안했던 간단한 CIPT 공정법[4]을 이용하여 박막 위에 4-point probe를 구현하였고, 6에서 1000 μm 의 팁 간격을 가지는 4-point probe에서 측정된 면저항(sheet resistance)과 cip-MR을 Clement의 CIPT 모델[2]에 대입하여 특성을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

단일배리어 자기터널접합(single-barrier MTJ, SMTJ)와 달리, DMTJ의 자화 배열 상태는 평행, 반평행 상태 외에도 두 가지의 중간 상태가 더 존재한다. 기존에 제안한 간단한 CIPT 공정법[4]을 이용하면, 이 모든 상태의 정보를 한 번의 측정으로 얻어내는 것이 가능하며, 더 많은 데이터를 사용하여 커브 피팅을 진행함으로써 결과의 신뢰도를 향상시킬 수 있다.

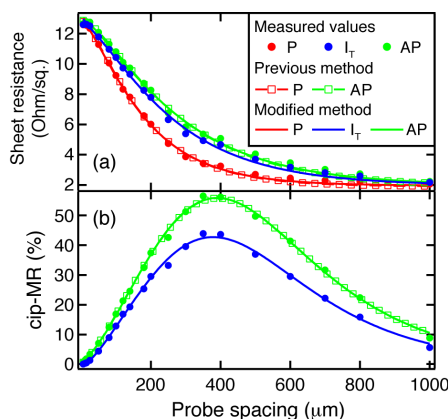


그림 1. DMTJ의 (a) 면저항 및 (b) cip-MR. 원은 측정된 값을, 사각형은 기존의 방법을 이용한 커브 피팅 결과를 나타내며, 실선은 개선된 방법을 이용한 커브 피팅 결과를 보여준다.

그림 1은 측정된 결과 및 피팅 결과를 나타낸다. 기존의 방법을 이용하여 평행과 반평행 상태에서 얻은 데이터만 피팅한 경우에는 barrier 1의 자기저항비가 1729%, barrier 2의 자기저항비가 -88%로 불가능한 결과를 얻게 된다. 반면, 두 가지 중간 상태 중 한 가지 상태만 추가하여 커브 피팅을 진행한 경우에도 barrier 1과 2의 자기저항비가 242%와 125%로, 매우 정확한 피팅 결과를 보여주며 실제로 패턴 공정을 진행하여 측정한 데이터와도 일치하였다.

4. 결론

본 연구에서는 기존의 분석 방법에서 배제되어 있던 DMTJ의 중간 상태를 활용하여 CIPT 측정법의 정확도를 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 제안된 CIPT 분석 방법을 이용하면 DMTJ의 특성을 쉽고, 빠르고, 정확하게 얻어내는 것이 가능하므로, 제한된 환경에서 DMTJ를 연구하는 연구자에게 특히 유익할 것으로 사료된다.

5. 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(No. 10044723)와 KSRC 지원 사업인 미래반도체소자 원천기술개발사업의 연구 결과로 수행되었으며, 2014년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2013R1A1A2013745).

6. 참고문헌

- [1] D. C. Worledge and P. L. Trouilloud, Appl. Phys. Lett. **83**, 84 (2003).
- [2] P. Y. Clement, C. Ducruet, C. Baraduc, M. Chshiev, and B. Dieny, Appl. Phys. Lett. **100**, 262404 (2012).
- [3] S. Lee, T. Bae, J. Hong, Appl. Phys. Lett. **104**, 263502(2014).
- [4] S. Lee, Y. Han, T. Bae, J. Hong, J. Shim, E. Kim, and K. Sunwoo, J. Appl. Phys. **108**, 093902 (2010).