

Current-in-plane tunneling을 이용한 자기터널접합 특성평가에 대한 시뮬레이션

배태진, 이상호, 김보성, 홍종일*

연세대학교 공과대학 신소재공학과

1. 서론

터널 배리어(tunnel barrier)를 이용하는 자기터널접합(magnetic tunnel junction, MTJ)의 경우 전자기적 특성을 측정하기 위하여 적어도 4장의 포토마스크가 필요한 공정이 요구된다. 하지만, 제작하는 과정에서 많은 문제가 발생하기 때문에 복잡한 공정을 수행하지 않고 자기터널접합의 특성을 평가할 수 있는 current-in-plane tunneling (CIPT) 방법이 제안되었다[1]. 상업적으로 이용되고 있는 CIPT 측정장비의 경우 매우 고가이며 프로브 팁(probe tip)의 교체주기도 빨라서 학교 또는 연구소에서 구입하여 활용하기는 쉽지 않다. 본 연구실에서는 간단한 공정을 통해 in-line four-point-probe를 이용한 CIPT 방법을 자기터널접합에 적용할 수 있는 방법을 개발하였다[2]. 이번 연구에서는 CIPT 방법을 이용하여 자기터널접합의 특성을 좀 더 정확하게 평가하기 위한 조건들에 관하여 시뮬레이션을 진행하였다.

2. 실험방법

본 실험에서는 Ta 5/Ru 10/Ta 5/CoFeB 4/MgO x/CoFeB 4.5/Ta 5/Ru 7 nm의 pseudo 자기터널접합에 대하여 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션을 위하여 터널 배리어에 따른 면적저항곱(RA), 상부와 하부전극의 면저항(R_T , R_B) 및 예상되는 터널 자기저항(tunnel magnetoresistance, TMR)을 변수로 지정하였으며 다음의 식 (1)과 (2)가 이용되었다.

$$R = \frac{1}{\ln 2} \frac{R_T R_B}{R_T + R_B} \left(\frac{R_T}{R_B} \left[K_0 \left(\frac{x}{\lambda} \right) - K_0 \left(\frac{2x}{\lambda} \right) \right] + \ln 2 \right) \quad (1)$$

$$MR_{CIP}(\%) = \frac{R_{high} - R_{low}}{R_{low}} \times 100 \quad (2)$$

식에 포함된 x 는 in-line으로 배치된 프로브 팁간의 간격을 뜻하고 K_0 는 modified Bessel function, $\lambda_{low} = \sqrt{RA/(R_T + R_B)}$ 를 나타낸다. 위의 식을 이용하여 프로브 팁간 간격 x 에 따른 자기저항(MR_{CIP})의 변화를 계산하여 자기터널접합의 특성평가에 대한 신뢰도를 높이기 위한 적절한 팁간 간격을 결정할 수 있다.

3. 실험결과 및 고찰

터널 배리어의 면적저항곱 또는 상부 및 하부전극의 면저항 변화에 따른 시뮬레이션을 진행하여 특성을 확인한 결과, 그림 1과 같이 면적저항곱(RA)이 커질수록 또는 면저항이 작아질수록 자기터널접합의 특성을 CIPT 방법으로 평가하기 위한 in-line 프로브 팁간의 간격을 증가하는 것이 바람직하다는 것을 확인하였다. 이와 같은 특성이 나타나는 이유는 면적저항곱이 증가하거나 면저항이 감소함에 따라서 두 저항간의 차이가 증가하게 되고 그에 따라서 팁간 간격이 일정 수준 이상이 되기 전까지는 상부전극으로 흐르는 전류가 우세하기 때문이다. 시뮬레이션을 통하여 팁간 간격 x 에 따른 자기저항의 분포를 확인한 후 가장 큰 자기저항을 갖는 프로브 팁 간격을 기준으로 그보다 작은 간격을 갖는 패턴을 세 종류, 큰 간격을 갖는 패턴 네 종류를 배열할 경우 CIPT를 통하여 자기터널접합의 특성평가의 신뢰도를 높일 수 있음을 확인하였다.

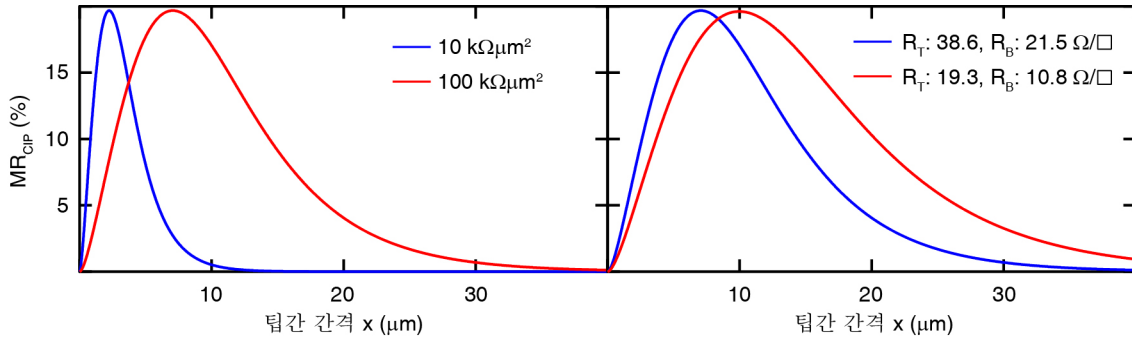


그림 1. 면적저항곱(좌) 및 면저항(우)의 변화에 따른 프로브 팁간 간격과 자기저항의 관계

4. 결론

시뮬레이션을 통하여 면적저항곱 및 면저항의 변화에 따른 프로브 팁과 자기저항의 관계를 확인하였다. 본 연구 방법은 디자인 된 자기터널접합을 복잡한 공정으로 만들기 전에 CIPT 방법을 이용하여 자기터널접합의 특성을 높은 신뢰도를 가지고 예측함으로써 공정에서 나타나는 문제점들을 쉽게 파악할 수 있는 장점을 제공할 것이다.

5. 감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [KI002189, 30 nm급 수직자화형 고집적 STT-MRAM]

6. 참고문헌

- [1] D. C. Worledge and P. L. Trouilloud, Appl. Phys. Lett. 83, 84 (2003)
- [2] Lee, Y. Han, T. Bae, J. Hong, J. Shim, E. Kim, and K. Sunwoo, J. Appl. Phys. 108, 093902 (2010)