

# Ferromagnetic Resonance of Magnetic Tunnel Junctions with an Exchange Biased Synthetic Antiferromagnetic Reference Layer

윤정범\*, 유천열, 정명화<sup>1</sup>

인하대학교 물리학과

<sup>1</sup>서강대학교 물리학과

## 1. 서론

자기 터널 접합(magnetic tunnel junction; MTJ)은 차세대 비휘발성 메모리로서 가능성을 갖고 있는 STT-MRAM(spin-transfer torque magnetic random access memory)의 잘 알려진 핵심 구조이다. 이와 관련해서 매우 많은 연구가 이뤄지고 있지만 상용화를 위한 메모리로서 좀 더 좋은 성능을 갖추기 위해서 MTJ에 관한 정역학적 연구는 물론이고 동역학적 이해도 필요하다. 일반적으로 MTJ의 구조는 안정적인 자화 반전과 높은 터널 자기 저항률(tunneling magnetoresistance; TMR)을 갖기 위해서 교환 바이어스 synthetic antiferromagnetic (SAF) 기준층을 포함하고 있다. 이 논문은 미세자기 동역학을 통해서 SAF 기준층이 있는 MTJ에 대한 동역학을 연구하였다.

## 2. 미세자기 동역학

SAF 기준층을 포함한 MTJ에서의 강자성 공명(ferromagnetic resonance; FMR)을 연구하기 위해서 미세자기 동역학을 기반으로 하는 object oriented micromagnetic framework(OOMMF)를 이용하여 시뮬내기를 하였다<sup>1)</sup>. 그림 1 과 같이, 다층 박막으로 설계된  $100 \times 200 \text{ nm}^2$  크기의 접합의 구조는 CoFeB(3)/MgO(1)/CoFeB(3)/Ru(1)/CoFe(2)이다. ()안의 단위는 nm 이다.

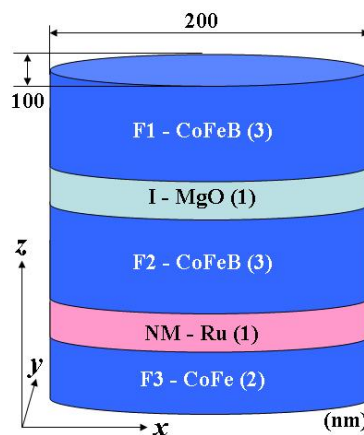


그림 1. SAF 기준층을 포함하는 MTJ의 구조.

여기서 시뮬내기를 위한 CoFeB과 CoFe의 기본적인 변수는 다음과 같다. 포화 자화( $M_s$ )는  $1.3 \times 10^6 \text{ A/m}$ 이고 교환 뱃뱃함 상수는  $30 \times 10^{-12} \text{ J/m}$ 이며 Landau-Lifshitz 자기회전비율( $\gamma$ )은  $221000 \text{ m/(A}\cdot\text{s)}$ 이고 감쇠 계수( $\alpha$ )는 0.02으로 설정하였다. 또한 비자성체인 MgO와 Ru은 자기적 변수를 모두 0으로 하고 계산하였다. 시뮬내

기 cell의 크기는  $5 \times 5 \times 5 \text{ nm}^3$ 이다.

MTJ를 FMR 신호로 분석하기 위해서 각 층의 스핀들을 들뜨게 할 RF 자기장이 필요하다. 이 시뮬레이션에서 RF 자기장을 0에서 45 GHz까지 일정한 세기로 적용하기 위해서 'sinc' 함수인  $H_y = H_0 \sin(2\pi f_h(t-t_{f1})) - 2\pi f_h(t-t_{f2})$  형태의 자기장을 시료 전체에 인가하였다<sup>2)</sup>. 여기서  $f_h$ 는 45 GHz,  $H_0$ 는 1 mT를 적용하였다. FMR을 계산하기 위해 위와 같은 자기장이 인가된 상태에서  $1.0 \times 10^{-3}$  nsec 간격으로 각각의 cell의 자기 구조를 10 nsec 동안 저장하였다. 그리고 저장한 결과를 시간에 대하여 fast Fourier transform(FFT)하여 FMR 주파수를 얻었다.

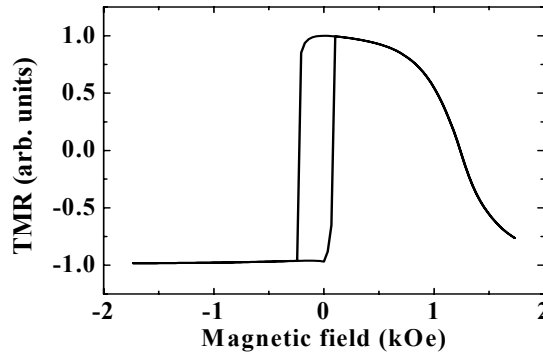


그림 2. MTJ에서 F1층과 F2층의 자화 방향의 끼인각에 의해서 계산된 TMR. 자기장은 +x 축에 30도로 인가.

### 3. 계산 결과 및 논의

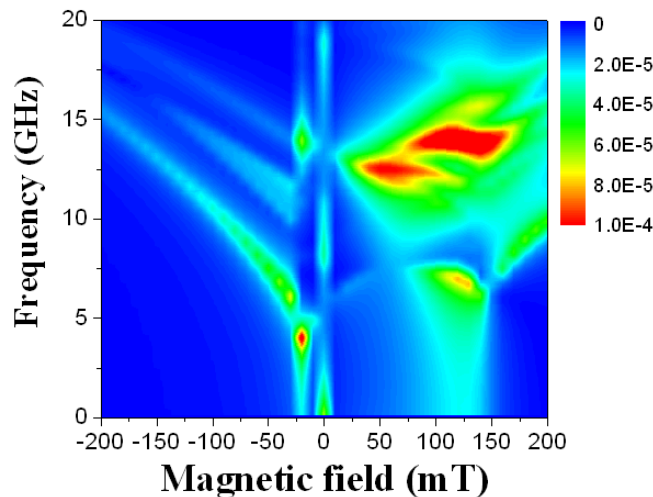


그림 3 -200 mT부터 200 mT까지 인가된 자기장에 대한 MTJ의 FMR 주파수 변화.

SAF 기준층을 갖고 있는 MTJ의 FMR을 연구하기 위해서 자기장을 +x 방향에서 30도로 인가했을 때의 TMR을 알아보았다. TMR은  $\Delta R = -\Delta R_0 \cos \theta_{12}$ 으로 계산된다. 여기서  $\theta_{12}$ 는 그림 1에서 F1과 F2의 자화 방향에 대한 끼인각이다. 그 결과, 그림 2와 같이 전형적인 TMR 그래프를 얻을 수 있다. 그림 3은 각 자기장에 대한 FMR 신호를 contour 그래프로 나타내고 있다. 이 결과는  $\Delta R$ 을 시간에 대해서 FFT한 결과이다. 그림 3에서 음의 방향의 자기장에 대해서는 예상 가능한 결과를 보이고 있지만 양의 방향 자기장에 대해서는 복잡한 모양의 FMR 신호를 보이고 있다. 이 결과는 실제 이 MTJ 구조의 자기 잡음 측정 결과와 매우 유사한 경향을 보이고 있다<sup>3)</sup>.

#### 4. 결론

시뮬내기를 통해서 SAF 기준층을 갖고 있는 MTJ의 TMR을 확인한 후에 RF 자기장에 의한 FMR 신호를 확인하였다. 그 결과 음의 방향과 양의 방향의 정적 자기장에 대한 FMR 신호가 다름을 확인하였고 이는 MTJ에서 동역학을 연구할 때에 자유층 뿐만 아니라 고정층을 고려해야 함을 나타내고 있다.

#### 5. 참고 문헌

- [1] <http://math.nist.gov/oommf>
- [2] S.-K. Kim, K.-S. Lee, and D.-S. Han, Appl. Phys. Lett., 95, 082507 (2009).
- [3] C.-Y. You, J. Yoon, S.-Y. Park, S. Yuasa, and M.-H. Jung, Curr. Appl. Phys. [DOI:10.1016/j.cap.2010.11.128] (2011).