

# 터널링 자기저항재료의 주파수에 따른 임피던스 특성 분석

김동영\*, 윤석수, 배성철, 김건우, 정종률<sup>1</sup>, 김철기<sup>1</sup>

안동대학교 물리학과, <sup>1</sup>충남대학교 나노공학부

## 1. 서론

터널링 자기저항(TMR: Tunneling Magnetoresistance)재료는 고용량 하드디스크의 헤드 및 비휘발성 자기메모리(MRAM : Magnetic Random Access Memory)등 스핀공학 분야의 제품개발에 적용되는 핵심소재이다. 최근까지 MgO를 절연체로 사용한 TMR구조에서 자기저항비가 약 450% 이상의 우수한 특성을 갖는 재료가 이미 개발되었다[1]. TMR을 이용하는 소자들은 정보처리 속도의 고속화 및 초소형화를 요구하고 있다. 그러나 이들 TMR 재료에서는 자성재료 사이에 터널링층으로 절연체인 유전체재료가 사용되고 있으며, 이러한 구조는 정전 용량(C: capacitance)을 유발한다. 이들 정전용량의 크기는 주파수에 따른 자기저항 특성인 임피던스의 변화를 가져온다 [2]. 따라서 TMR 소자에 대한 주파수 특성은 정보처리의 속도에 영향을 미치고 있으며, 주파수에 따른 임피던스의 변화특성에 대한 분석이 필요하다.

본 연구에서는 자기저항비 특성이 우수한 MgO기반의 TMR junction에 대한 주파수에 따른 터널링 자기 임피던스(TMI, Tunneling Magneto-Impedance) 특성을 측정하였으며, 이들 결과는 RC가 병렬로 연결된 등가회로를 적용하여 그 특성을 분석하였다.

## 2. 실험방법

Spin valve형 TMR재료는 Si-sub./Cu/Ta 5/CoFeB 4/Mg 0.45/MgO 2/CoFeB 3.6/Ru 0.85/CoFe 3/MnIr 7.5/Ta 3/Ru 7nm의 구조로 제작하였다. TMR재료는 photo-lithography방법을 사용하여  $4 \times 4 \mu\text{m}^2$ 의 junction을 제작하였으며, 4-단자법을 이용하여 측정된 자기저항비는 Fig. 1(a)에서 보인 것과 같이 237%였다. TMR Junction시편의 터널링 자기 임피던스는 임피던스 분석기를 (HP4192A) 사용하여 10 Hz ~ 10 MHz의 주파수범위에서 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

TMR재료의 저항은 두 강자성층의 자화 방향에 의존하며, 두 강자성층이 평행(P: Parallel)인 경우와 반평행인 (AP: Anti-Parallel) 경우 스핀 의존성 산란에 의하여 자기저항이 달라진다. 이러한 저항 변화는 일반적으로 Fig. 1(a)에서 보인 것과 같이 직류전류를 사용한 4-단자법으로 측정된 경우 자기장의 세기에 다른 저항 변화를 보인다. 동일한 시편에 대하여 주파수에 따른 교류 전류를 인가한 경우에 대한 터널링 자기임피던스(TMI)를 측정된 결과를 그림1(b)에서 보인다. P와 AP상태에 대하여 저주파수에서의 TMI는 4-단자법으로 측정된 결과와 일치한다. 그러나 고주파수에서는 P 및 AP상태 모두에 대하여 TMI는 감소한다. 주파수에 따른 TMI의 특성 분석을 위하여 Fig. 2에서 보인 것과 같이 P 및 AP상태에 대한 실수부 대 허수부의 변화특성인 Cole-Cole 그림을 사용하였다. P 및 AP 상태 모두 반원을 나타내고 있다. 즉 TMR junction은 절연층에 의한 정전용량(C)과 터널링저항(R)이 병렬로 연결된 등가회로로 설명이 가능하며, 이 경우 주파수에 따른 임피던스는  $Z=R/(1+i\omega RC)$ 로 분석이 가능하다. 여기서  $\omega = 2\pi f$ 는 각진동수이며,  $i$ 는 허수이다. 이 경우 터널링 자기 임피던스의 주파수 특성은 시상수인 RC에 의존한다. 결국 시상수 이상의 주파수에서 TMI의 값이 감소함을 알 수 있으며, 따라서 TMI ratio (%) 역시 고주파수에서 감소하게 된다. 주파수에 따른 TMI ratio 변화는 TMR 재료를 MRAM에 사용할 경우 정보처리 속도에 대한 제약조건으로 작용하며, 결국 고속 정보처리를 위해서는 TMR junction의 시상수 RC를 최소화 하여야 한다.

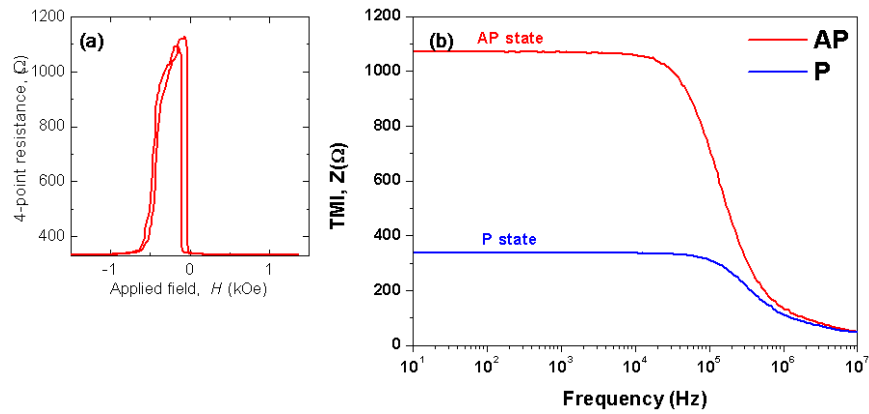


Fig. 1. (a) The 4 - point resistance with magnetic field. (b) Tunneling magneto-impedance with frequency for parallel(P) and anti-parallel(AP) states in MgO based TMR junction.

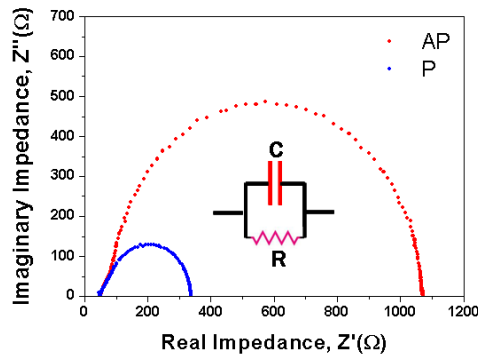


Fig. 2. The Cole-Cole diagrams for parallel(P) and anti-parallel(AP) states in MgO based TMR junction. The insert figure shows the equivalent circuit for the TMR junction.

#### 4. 결론

TMR junction의 주파수에 따른 임피던스 변화는 두 강자성체의 P 및 AP상태 모두에 대하여 RC가 병렬로 연결된 등가회로로 해석이 가능하다. 이러한 회로 분석에 의하면 터널링 자기 임피던스(TMI)는 고주파수에서 감소하게 되며, 따라서 TMI ratio역시 고주파수에서 감소한다. 이러한 결과는 TMR 재료를 MRAM에 사용할 경우 정보처리의 고속화에 대한 제약조건으로 작용하며, 결국 고속 정보처리를 위해서는 TMR junction의 시상수 RC를 최소화 하여야 한다.

#### 5. 참고문헌

- [1] Y. M. Lee et.al, Appl. Phys. Lett. 89, 042506 (2006).
- [2] P. Padhan, et.al, Appl. Phys. Lett. 90, 142105 (2007).