

# 거대 자기임피던스(GMI) 센서를 이용한 생물학적 응용을 위한 마그네틱 비드 검침

김도현<sup>1\*</sup>, 이우영<sup>2</sup>, 정원용<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국과학기술연구원 재료연구부

<sup>2</sup>연세대학교 신소재공학부

## 1. 서론

마이크론 크기의 마그네틱 비드는 생체 이미징, 세포 식별 등 생물학적으로 널리 응용되고 있으며 이에 따라 마그네틱 입자에 의한 국부적인 자기장을 효과 적으로 검침하는 연구가 자기 센서연구의 중요한 분야로 각광받고 있다. 지금까지 거대 자기저항 (GMR), 터널 자기접합 (MTJ), 그리고 홀(Hall)소자와 같은 자기소자를 이용한 단위 마그네틱 비드를 검침하려는 노력이 이루어져 왔다. [1~3] 한편, 외부자기장에 의해 교류전류가 인가된 연자성 물질의 임피던스가 민감하게 변하는 거대 자기 임피던스 효과 (GMI effect)는 기존의 GMR, MTJ 소자와 비교해 그 민감도가 월등히 우수하고 제조의 용이성으로 인하여 전자 나침반, 3축 가속도계와 같은 민감한 자기장 검침에 응용되고 있으며 그 생물학적 응용성 또한 제안되고 있다.[4,5] 그러나 현재까지의 GMI소자는 melt-spinning 방법으로 제조된 비정질계의 리본 또는 와이어를 이용하고 있으며 수 밀리미터 이상의 소자 크기를 가져 높은 민감도에 도 불구하고 마그네틱 비드와 같은 국소화된 자기장을 검침하는데 어려움이 있다.

본 연구에서는 선행연구[6]로 개발된 연자성 CoFeNi 박막을 이용하여 수십 마이크로 미터의 검침 영역을 가진 GMI 소자를 개발하고 이를 이용한 마그네틱 비드 검침을 위한 연구를 수행하였다. 개발된 GMI 소자는 단위 비드당 약 70 uV 이상의 신호출력을 가져 GMI 소자의 생물학적 응용을 위한 마그네틱 비드의 효과적인 검침 가능성을 보여주고 있다.

## 2. 실험방법

Co<sub>32</sub>Fe<sub>32</sub>Ni<sub>34</sub> 의 조성[6]을 가진 연자성 합금 박막을 전기도금법으로 제조하고 포토 리소그래피 방법으로 폭: 25~75µm, 길이: 230~270µm, 두께: 1.5µm 로 패터닝 하였으며 습식 에칭 방법으로 소자를 제작하였다. RF 스퍼터링 방법으로 이용하여 전극을 증착하고 검침영역의 거리는 20µm로 고정하였다. 소자의 연자성 특성은 Lakeshore 사의 7400 vibrating sample magnetometer (VSM) 로 측정 되었으며 0.2 Oe 미만의 보자력과 transverse 방향의 결정학적자기이방성 성질을 확인하였다. Four probe IV measurements 로부터 GMI 소자는 소자의 폭에 따라 0.07 Ω에서 0.15 Ω의 DC 저항을 나타내었다.

소자의 RF 영역의 자기임피던스 측정을 위해 Agilent 사의 33220A function generator를 이용하여 20MHz의 주파수를 가진 RF 신호를 소자에 인가하고 소자의 출력 전압을 외부자기장에 따라 AD8361 RMS to DC 변환기와 SR850 Lock-in amplifier를 이용하여 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

우수한 민감도 이외에 GMI 소자가 기타 자기 소자에 비해 우수한 점은 최대 민감도를 가지는 외부 자기장 값, 즉 비드 검침시의 동작점을 소자의 형상 이방성의 제어를 통해 조정할 수 있다는 점이다. 이는 고전 전자기 이론에 따른 강자성 공명현상과 표피효과에 대한 연구로 RF 주파수 영역에서 소자의 임피던스가 최대로 되는 외부 자기장 값은 소자의 transverse 방향의 자기 이방성 크기와 깊은 관련이 있다는 사실이 잘 알려져 있기 때문이다.[5,6] 마그네틱 비드는 초상자성 성질을 가지기 때문에 마그네틱 비드의 검침을 위해서는 먼저 비드를 일정 방향으로 자화시키는 외부 바이어스 자기장이 필요하며 효과적인 검침을 위해서는 상대적으로 높은 바이어스 자기장을 걸어주는 것이 유리하다. 그림 1에 본 연구에서 사용된 GMI 소자들의 임피던스 프로파일을 나타내었다. 축횡비가

약 9.3에서 3.8로 감소함에 따라 축방향의 형상 자기이방성이 감소되어 transverse 방향의 결정학적 자기이방성의 기여도가 증가하여 임피던스 최대점에서의 외부자기장 값이 증가하는 것을 알 수 있다. 이에 따라 최대값 근처의 최대 민감도 영역 또한 증가하므로 형상 이방성 제어를 통하여 바이어스 자기장값을 제어할 수 있다. 이와 같은 방법으로 비드 검침에 최적화된 GMI 소자는 축형비 3.3의 경우 15%/Oe의 높은 민감도와 약 42.1 Oe의 바이어스 자기장을 가짐을 확인하였다.

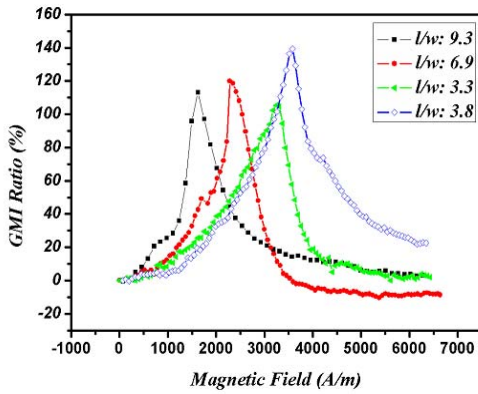


그림 1. 형상 자기이방성을 이용한 GMI 프로파일의 최대 민감도와 동작점의 조정.

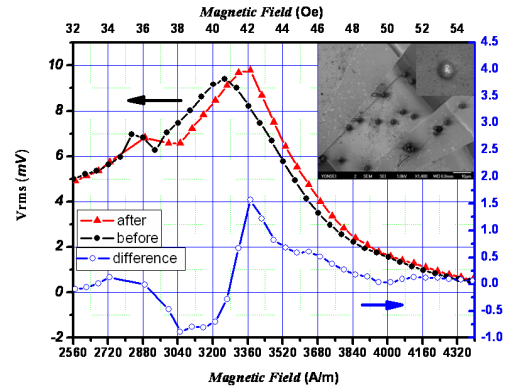


그림 2. 마그네틱 비드 분산 전, 후의 GMI 프로파일 변화 (inset: SEM으로 관찰된 active area 상의 마그네틱 비드 이미지).

제작된 GMI 소자를 사용하여 마그네틱 비드를 분산하고 분산 전, 후의 임피던스 프로파일 변화를 그림 2에 나타내었다. 소자의 active area 상에 약 20개의 비드가 분산되었을 때 동작점으로 설정된 42.1Oe에서 약 1.5mV의 전압변화를 보였으며 이는 단위 비드당 약 70uV의 전압 변화를 의미 한다. 그림 2의 inset에는 전기적인 측정 후의 SEM 이미지를 나타내었다.

## 5. 결론

전기도금된 연자성 CoFeNi 박막을 이용하여 수십 마이크로 미터의 검침 영역을 가진 GMI 소자를 개발하고 이를 이용한 마그네틱 비드 검침을 위한 연구를 수행하였다. 형상 자기이방성을 제어하여 초상자성 비드 검침을 위한 바이어스 자기장의 조정 가능성을 실험적으로 검증하였으며 최대 15%/Oe의 높은 민감도를 가진 자기센서를 개발하였다. 마그네틱 비드분산 후 임피던스 프로파일 변화를 측정한 결과 본 연구의 GMI 소자는 단위 비드당 약 70 uV 이상의 신호출력을 가져 GMI 소자의 생물학적 응용을 위한 마그네틱 비드의 효과적인 검침 가능성을 보여주고 있다.

## 6. 참고문헌

- [1] Weifeng Shen, Xiaoyong Liu, Dipanjan Mazumdar, and Gang Xiao, "In situ detection of single micron-sized magnetic beads using magnetic tunnel junction sensors," Appl. Phys. Lett 86 253901 (2005).
- [2] Guanxiong Li, Vikram Joshi, Robert L. White, and Shan X. Wang "Detection of single micron-sized magnetic bead and magnetic nanoparticles" J.Appl.Phys 93, 7557 (2003).
- [3] Olga Kazakova, and John Gallop "Scanned micro-Hall microscope for detection of biofunctionalized magnetic beads" Appl.Phys.Lett 90,162502 (2007).
- [4] L. V. Panina and K. Mohri "Magneto-impedance effect in amorphous wires" Appl. Phys. Lett. 65, 1189 (1994).
- [5] M. Knobel, M. L. Sánchez, C. Gómez-Polo, P. Marín, M. Vázquez, and A. Hernando "Giant magneto-impedance effect in nanostructured magnetic wires" J. Appl. Phys. 79, 1646 (1996).
- [6] W. Y. Jeung, H. K. Kim, C. B. Park, " The effect of magnetic property according to size and orientation of crystal for electroplated Co-Fe-Ni alloys", J. of kor. Mag. Soc., vol. 16, No. 5, 249-254, (2006).