U-7

Joule 열처리된 비정질 마이크로와이어의 Magnetoimpedance 효과
(Giant magnetoimpedance effect of Joule-heated amorphous microwires)

Lan Jin[1], 김종오[1], 김철기[1], 권성덕[2], 윤석수[2]
[1]충남대학교 재료공학과, [2]안동대학교 물리학과

1. 서론

최근 수년동안 거대 자기임피던스(giant magneto impedance, GMI) 효과는 자기응용분야에서 활발한 연구가 진행되고 있는 주제가 되었다. 그 이유는 연자성 재료(Soft magnetic materials)에서 GMI는 외부 직류자기장 및 인장 스트레스에 매우 민감하게 반응하며, 이를 응용할 경우 연자성 재료를 이용한 각종 센서를 개발할 수 있는 가능성이 매우 높기 때문이다[1].

최근 들어 유리피막을 가진 연자성 비정질 마이크로와이어(마이크로 미터 크기의 직경을 가지는 와이어)가 GMI 물질의 새로운 종류로 관심을 끌고 있다[2].

본 연구에서는 Co 주성분의 유리피막을 가진 비정질 마이크로와이어를 Joule 열처리 방법으로 열처리하여 이에 따른 GMI 특성의 변화를 조사하며, 그 결과를 자구주조의 변화와 연관하여 분석한다.

2. 실험방법

본 실험에서 사용한 시편은 유리피막의 두께가 4 ㎛이며 유리막 두께를 제외한 와이어 내부직경은 17 ㎛인 $Co_{66}Fe_{3.8}Ni_{1.4}B_{11.5}Si_{14.6}Mo_{1.7}$ 비정질 자성체 와이어이다. 이 시편을 먼저 60.51% hydrofluoric 산 용액속에 넣어 유리피막을 제거하였다. 시편을 손상시키지 않고 유리피막만 제거하는데 가장 적절한 시간은 실험 결과 2시간 이였다.

Joule 열처리 장치는 컴퓨터로 시편에 가해지는 전류와 시간을 제어할 수 있게 구성하였다. 직류 열처리 전류 I_a 를 10-50 mA까지 10mA 간격으로 10분 동안 가하여 줄 열처리한 시편세트를 준비하였다.

자기임피던스의 측정은 HP4192A impedance analyzer를 이용하였다. 시편에 4 point probe 방법으로 전극을 silver paste를 이용하여 접촉하여 바깥쪽 두 단자에는 교류 전류를 인가하고 안쪽 두 단자에는 전압을 측정하는 방법으로 시료의 임피던스 변화를 측정하였다. 시편에 외부 자기장 H 를 가하기 위해 헬름홀쯔 코일을 이용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1은 유리피막만 제거된 Joule-heating 되지 않은(I_a = 0 mA) 시편과 I_a = 50 mA로 열처리된 시편의 주파수별 GMI ratio 프로파일을 보여준다. I_a = 0 mA은 1 MHz이하의 저주파에서는 단일피크 특성을 보여주며, 고주파의 경우는 두피크 특성을 보여준다.

I_a = 50 mA로 열처리된 시편은 모든 주파수에서 두피크 특성이 뚜렷이 보이며 최대 GMI ratio 크기($\triangle Z/Z_{max}$)가 모든 주파수에서 줄열처리후 증가했음을 보여준다.도 GMIm 주파수별 GMI ratio 프로파일을 보여준다. I_a = 0 mA은 1 MHz이하의 저주파에서는 단일피크 특성을 보여주며, 고주파의 경우는 두피크 특성을 보여준다.

가하여 줄 열처리한 시편세트를 준비하였다.

자기임피던스의 측정은 HP4192A impedance analyzer를 이용하였다. 시편에 4 point probe 방법으로 전극을 silver paste를 이용하여 접촉하여 바깥쪽 두 단자에는 교류 전류를 인가하고 안쪽 두 단자에는 전압을 측정하는 방법으로 시료의 임피던스 변화를 측정하였다. 시편에 외부 자기장 H 를 가하기 위해 헬름홀쯔 코일을 이용하였다.

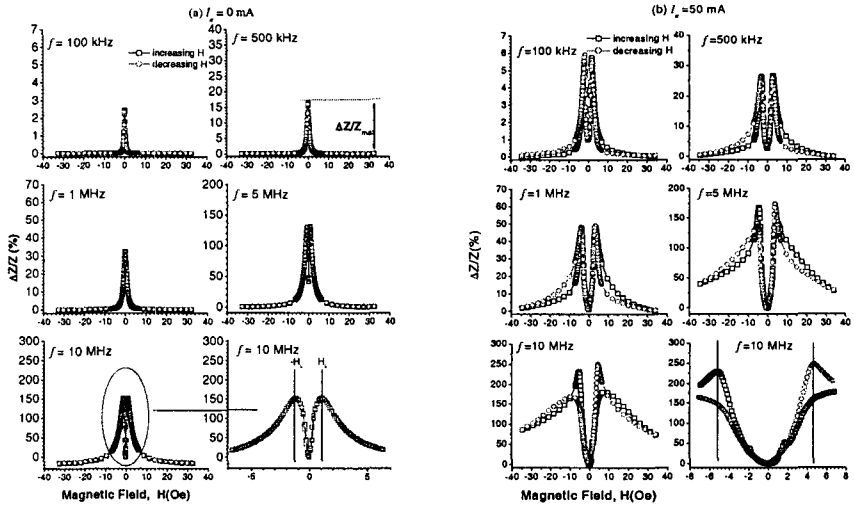

그림 1. 주파수별 GMI 프로파일 (a) I_a = 0 mA (b) I_a = 50 mA

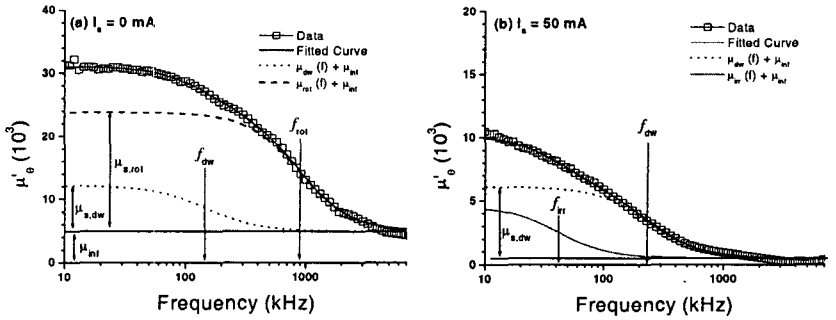

그림 2. (a) I_a = 0 mA (b) I_a = 50 mA 시편의 회전방향 투자율 스펙트럼의 자벽이동 및 자화회전 성분

와이어의 GMI 효과는 회전방향 투자율과 밀접하게 연관되어 있다. 회전방향 투자율 스펙트럼은 GMI 스펙트럼으로 부터 뽑아낼 수 있다 [3]. 그림 2는 두 시편에 대해 GMI 스펙트럼로부터 뽑아낸 회전방향 투자율 스펙트럼을 보여준다. 회전방향 투자율 스펙트럼을 현상학적 모델로부터 분석하면 자벽이동과 자화회전 성분을 분리할 수 있으며 [3], 그 결과가 그림 2에 점선 및 파선으로 나타나 있다. 이 결과를 보면 줄 열처리 전의 시편의 경우 가로방향 투자율에 주기여는 1 MHz 근처의 완화주파수를 가진 자회회전 성분이나, 줄 열처리된 후 자화회전 성분은 사라지며 수백 Hz 근처의 완화주파수를 가진 자벽이동 성분이 주 기여가 됨을 보여준다. 또한 줄 열처리한 시편의 경우 수십 Hz 근처의 완화주파수를 가진 비가역적 자벽이동 성분도 나타남을 보여준다. 이는 줄 열처리시 흐르는 전류가 회전방향 자기장을 발생하고 줄 열에너지로부터 자구들의 방향이 회전방향 자기장에 의해 회전방향으로 정렬되었음을 의미한다.

4. 참고문헌

[1] M. Knobel, K. R. Pirota, JMMM, **33**, 242, (2002).

[2] M. Vazquez, J.Magn. Magn. Mater., **226-230**, 693 (2001)

[3] S.S. Yoon, B.S. Lee, Y.W. Rheem, S.J. Ahn, C.G. Kim, C.O. Kim, IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, **39**, 3292, (2003).