

비틀림 변형하에서 전기도금 된 Ni₈₀Fe₂₀/Cu 와이어의 자기 임피던스 효과

조성언*, 김민우, 서수교, 김동영, 윤석수
안동대학교 물리학과

1. 서론

최근에 전도성이 뛰어난 금속 와이어 위에 전기도금 방법으로 연자성 특성을 지닌 NiFe, CoP 등의 다양한 합금을 전기도금으로 증착하여 만든 내부에 금속 심이 있으며 외부에 연자성 껍질을 가진 복합 구조는 뛰어난 자기 임피던스 효과를 보이기 때문에 이에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다[1,2].

본 연구에서는 특정 각도로 Cu 와이어를 비튼 상태 하에서 즉 비틀림 변형하에서 NiFe 자성재료를 도금하여 나선형 이방성(helical anisotropy)을 지닌 NiFe/Cu 복합구조를 제작하였으며, 비틀림 변형 각도에 따른 자기 임피던스 효과의 변화를 조사하였다.

2. 실험방법

본 연구를 위해 특정 각도로 비틀림 변형을 가한 상태에서 도금을 할 수 있는 도금 셀과 장치를 제작하였다. 도금 셀은 유리관에 백금 판으로 된 counter electrode(CE), Ag/AgCl reference electrode(RE), 그리고 도금되는 Cu 와이어를 Working Electrode(WE)로 구성하였다. 도금 용액은 Ni₈₀Fe₂₀ 합금의 도금을 위해 DI water에 NiSO₄ 31.0 g/l, FeSO₄ 3.8 g/l, H₃BO₄ 24.6 g/l 용해시켜 제조하였다. 산화방지용 보호막을 가진 Cu 와이어는 100 μm 직경을 가진 것을 이용하였으며 도금전에 질산용액을 이용하여 보호막을 제거하였다. 전기도금은 potentiostat 장치를 이용하여 기준전극에 대해 -1.0 V의 일정한 전위차를 Cu WE에 유지하면서 이루어졌으며 도금되는 NiFe의 두께는 도금시간을 이용하여 조절하였다.

자기임피던스 측정을 위해 Ni₈₀Fe₂₀/Cu 와이어의 도금되지 않은 양쪽 끝 Cu 부분에 4개의 전극을 silver paste로 형성하였으며 자기 임피던스는 HP4192A Impedance Analyzer로 10 kHz에서 10 MHz주파수 범위에서 측정하였으며 자기장은 헬름홀츠 코일을 이용하여 인가하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3000 s 동안 전기도금 하여 제작한 시편을 광학현미경으로 관찰한 결과 도금되지 않은 원래의 Cu 부분은 약 92 μm 직경을 보였으며 도금된 부분은 약 112 μm 직경을 보였다. 즉 도금된 NiFe 껍질의 두께는 10 μm로 측정되었다.

NiFe/Cu 복합구조의 자기 임피던스는 Cu 심의 전기저항 R_{cu} 와 도금된 자성껍질 부분의 복소 자성 인덕턴스 $L_M^* = L_M' - jL_M''$ 부분의 합으로 근사적으로 간주할 수 있다.

$$Z(f, H) = Z'(f, H) + jZ''(f, H) = R_{cu} + j(2\pi f) \{L_M'(f, H) - jL_M''(f, H)\} \quad (1)$$

$$Z'(f, H) = R_{cu} + 2\pi f L_M'(f, H) \quad (2a)$$

$$Z''(f, H) = 2\pi f L_M''(f, H) \quad (2b)$$

그림 1(a)와 (b)는 각각 0 도와 10 도의 비틀림 각하에서 만들어진 Ni₈₀Fe₂₀/Cu 와이어의 임피던스 스펙트럼을 길이방향 자기장 하에서 측정된 후 식 2(a)와 (b)로부터 계산하여 구한 복소 인덕턴스의 실수부 스펙트럼을 보여준다. 이 스펙트럼을 보면 두 시편모두 전형적인 relaxation type 스펙트럼을 보여준다. 비틀림 각도가 10 도인 시편의 경우 자기장에 따른 인덕턴스의 변화 폭이 0 도 보다 더 크게 나타났다. 이 결과는 자기 임피던스 효과가 비틀림 변형을 가한 시편에서 더 증대된다는 것을 의미한다. 자기 임피던스의 비틀림 각도 의존성은 원주방향 자화의 나선형 이방성 의존성으로부터 해석가능하며 이 결과를 연구발표에서 제시하고자 한다.

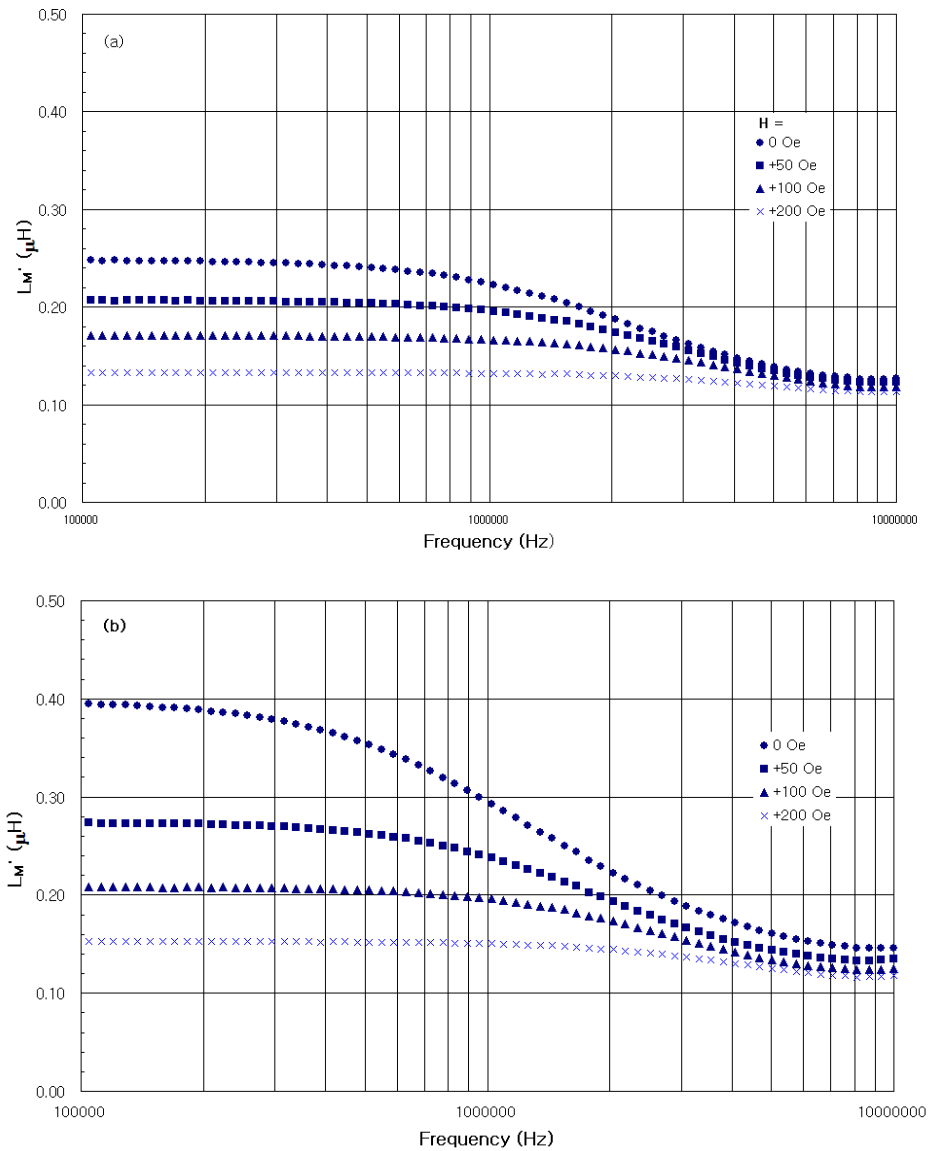


그림 1 (a) 0 도 (b) 10 도의 비틀림 각도에서 전기도금 된 Ni₈₀Fe₂₀/Cu 와이어의 복소 인덕턴스 실수부 스펙트럼의 자기장 의존성.

4. 참고문헌

- [1] M.H. Phan, H.X. Peng, Prog. Mater. Sci. **53**, 323, 2008.
- [2] P. Jantaratana, N.G. Bebenin, G.V. Kurlyandskaya, J. Appl. Phys. **105**, 013908, 2009.