

Ni nanotube array의 강자성공명 특성

김동영, 전성재*, 윤석수

안동대학교 물리학과, 경북 안동시 송천동 388번지, 760-749

1. 서론

마이크로파 투자율 특성이 우수한 나노복합재료를 개발하기 위하여 skin depth이하의 크기를 갖는 나노입자 또는 판상형 재료가 사용되고 있다. 나노입자는 형상이방성 상수가 커 투자율 값이 작고, 형상이방성에 의한 감쇠상수가 커지게 한다. 한편 볼밀링을 통하여 구형의 소재를 판상형으로 제조한 재료를 마이크로파 부품용 복합재료로 사용하기 위한 연구가 진행되고 있다. 그러나 볼 밀링을 통한 판상형 구조 제작 방법은 나노 두께로 형상을 조절하는 것이 매우 어렵다. 따라서 형상이방성 상수가 작은 박막 재료와 유사한 자성 특성을 갖는 자성 nanotube 재료의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 전기도금법으로 Ni nanotube array를 제작하였으며, 이들 재료의 강자성 공명특성을 분석하였다. 강자성공명 자기장(H_{res}) 및 선폭 변화(ΔH_{pp}) 특성에 대한 이론적인 분석 결과로부터 마이크로파 투자율 특성을 도출하였다.

2. 실험방법

Ni 도금 용액 안에 직경이 400 nm인 porous array를 갖는 polycarbonate membrane을 넣은 후, Ni의 증착조건을 전기 도금 방법으로 조절하여 Ni nanotube array를 제작하였다. 제작된 시편은 FE-SEM을 사용하여 구조 및 성분을 분석하였으며, VSM을 이용하여 M-H 곡선을 측정하였다. 또한 자기장의 세기 및 자기장의 각도에 따른 강자성 공명 신호(FMR signal)는 FMR 측정 장치인 Bruker Xepr을 사용하여 9.84 GHz (X-band)의 주파수에서 측정하였으며, 측정된 강자성공명 자기장(H_{res}) 및 선폭 변화(ΔH_{pp}) 특성에 대한 이론적인 분석을 하였다 [1,2].

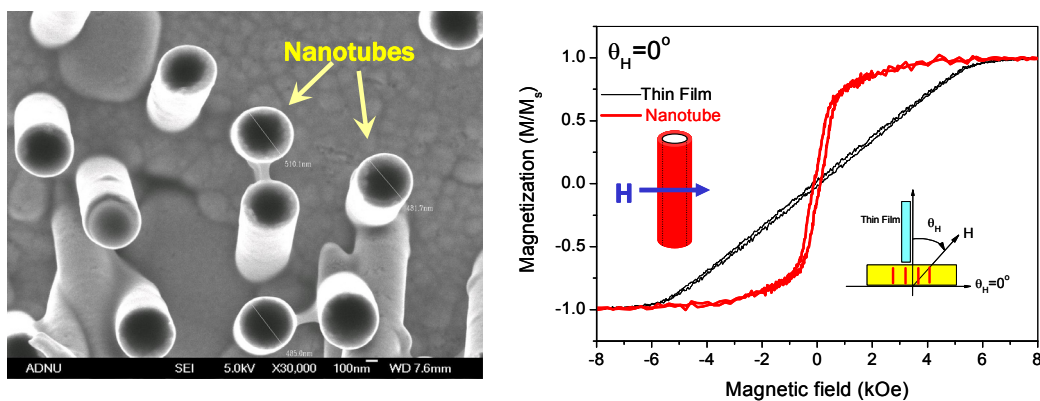


Fig. 1. (a) FE-SEM photography of Ni nanotubes and (b) magnetization curves of Ni nanotube array at $\Theta_H = 0^\circ$ and Ni thin film, which samples were fabricated by electrodeposition method.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1(a)는 전기도금법으로 제조한 Ni nanotube array로부터 추출한 Ni nanotube의 FE-SEM 사진이며, Fig. 1(b)는 $\theta_H = 0^\circ$ 에서 VSM으로 측정된 Ni nanotube array의 자화 특성을 보인다. 원통형의 nanotube들은 동일한 모양과 크기를 갖는 것으로 보이며, Ni 박막에 비하여 형상이방성 자기장이 작다는 것을 보인다. 이들 결과로부터 전기도금 방법으로 제조한 재료는 자성 특성을 갖는 nanotube로 성장하였음을 확인할 수 있다. Fig. 2(a)는 Ni nanotube array와 Ni 박막 재료의 자기장 방향에 따른 H_{res} 의 변화 특성을 보인다. Ni nanotube array의 H_{res} 는 Ni 박막 재료와 달리 $\theta_H = 0^\circ$ 근처에서 낮은 자기장 쪽으로 이동되어 있음을 볼 수 있다. 이러한 이동의 원인은 Fig. 2(b)에서 보인 것과 같이 원형 띠 형태를 보이는 nanotube의 단면 형상에 기인한다[3]. 즉 자기장과 평행한 방향에서는 형상이방성이 작아 H_{res} 가 낮은 자기장 영역에서 나타나며, 자기장과 수직인 방향에서는 형상이방성이 커져 H_{res} 가 높은 자기장 영역에서 나타나게 된다. 자성 원형 띠에서의 강자성 공명현상은 원형 띠 각각의 부분에서 일어나는 공명특성의 합으로 나타나게 된다. Fig. 2(b)는 자기장과 평행한 방향에서의 FMR 신호 특성이 가장 크게 나타나고 있으며, 이러한 특성이 Fig. 2(a)에서 보인 바와 같이 $\theta_H = 0^\circ$ 근처에서 H_{res} 값이 낮은 자기장 쪽으로 이동시킨 원이었음을 알 수 있다. 또한, $\theta_H = 90^\circ$ 근처에서는 Ni 박막과 유사한 범위의 낮은 H_{res} 를 보인 것은 nanotube의 자성특성이 감쇠 상수가 작은 nano 박막의 자성특성과 유사하다는 것을 의미한다. 따라서 이러한 자성 nanotube는 마이크로파 대역에서 투자율이 크고, 감쇠가 적은 나노복합체에 응용이 가능하다.

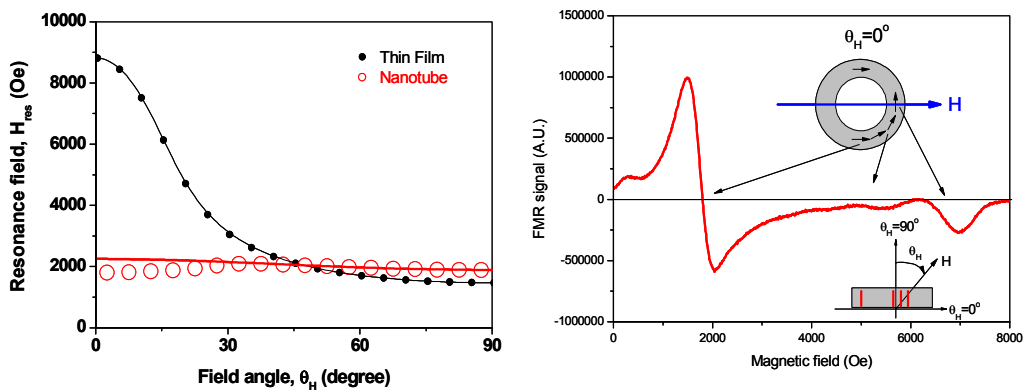


Fig. 1. (a) H_{res} with magnetic field angle of Ni nanotube array and Ni thin film. (b) FMR signal with magnetic field of Ni nanotube array at $\theta_H = 0^\circ$.

4. 감사의 글

본 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구임(No. 2011-0004649).

5. 참고문헌

- [1] S. Yuan, et. al, J. Appl. Phys, **105**, 106902 (2009).
- [2] S. Misugami, et. al, Jpn. J. Appl. Phys., **40**, 580 (2001).
- [3] J. Dubowik, et. al, Eur. Phys. J. Special Topics, **158**, 113 (2008).