

# 니켈 나노튜브의 FMR 선폭 변화 특성

김동영\*, 윤석수

안동대학교 물리학과, 경북 안동시 송천동 388번지, 760-749

## 1. 서론

음의 굴절률을 갖는 메타소재는 인공 구조물로 제작하여 마이크로파 대역에서 그 특성을 확인하였다. 그러나 이러한 소재는 손실이 크고 대역폭이 좁아 상용 제품에 적용하기 어려운 큰 단점들이 있다. 손실 및 대역폭의 문제는 인공 구조물에 사용하는 구리막의 두께 및 투자율 조절을 위한 링 구조물의 공진 특성에 기인한다. 따라서 대역폭 및 손실을 감소시키기 위하여 자성 나노 입자를 이용한 나노복합메타 재료에 대한 연구가 진행되고 있다[1]. 음의 투자율 특성이 우수한 나노복합메타 재료를 개발하기 위하여 skin depth 이하의 크기를 갖는 박막 재료가 요구된다. 구형의 나노입자는 형상이방성 상수가 커 투자율 값이 작고, 감쇠상수가 크다. 그러나 투자율 값이 크고, 감쇠상수가 작은 박막 재료는 대량 제조가 매우 어렵다. 따라서 형상이방성 상수가 작은 박막 재료와 유사한 자성 특성을 갖는 자성 나노튜브의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 전기도금법으로 니켈 두께가 다른 니켈 나노 튜브를 제작하였으며, 이들 재료에서 강자성공명 신호의 선폭( $\Delta H_{pp}$ ) 변화 특성을 분석하였다.

## 2. 실험방법

니켈 도금 용액 안에 직경이 400 nm인 porous array를 갖는 polycarbonate membrane을 넣은 후, 전기 도금 방법으로 니켈 나노 튜브를 제작하였다. 이때 도금되는 전하량을 조절하여 니켈 나노 튜브의 니켈 두께를 조정하였다. 제작된 시편은 FE-SEM을 사용하여 구조 및 성분을 분석하였으며, VSM을 이용하여 자화 곡선을 측정하였다. 또한 강자성 공명 신호(FMR signal)는 FMR 측정 장치인 Bruker Xepr을 사용하여 9.84 GHz (X-band)의 주파수에서 측정하였다. 측정된 강자성 공명 신호로부터 강자성공명 자기장( $H_{res}$ ) 및 선폭( $\Delta H_{pp}$ )을 도출하였다 [2].

## 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 전기도금법으로 제조한 니켈 나노튜브의 FE-SEM 사진을 보인다. 나노 튜브에서 니켈의 두께  $d_{Ni} = 10, 20, 30, 50, 100, 160, 185$  nm 이다. 여기서  $d_{Ni} = 185$  nm인 재료는 니켈이 튜브 안을 꽉 채운 모양이며, 니켈 나노 와이어의 형태임을 확인하였다. 이들 재료에 대하여 FMR 신호를 측정하여  $\Delta H_{pp}$ 를 도출하였으며, 니켈의 두께에 따른  $\Delta H_{pp}$ 의 특성은 Fig.2에서 보인 것과 같다. 니켈의 두께가 40 nm 이하에서는  $\Delta H_{pp}$ 가 약 700 Oe의 값을 보이며, 40 nm 이상에서는 약 1400 Oe의 값을 보인다. 자성나노 튜브에서 튜브의 두께가 증가하면 내부 스핀들의 정렬상태가 C-state에 B-state로 변화된다[3]. 이러한 스핀 상태의 변화는  $\Delta H_{pp}$ 의 변화를 반영한다. 따

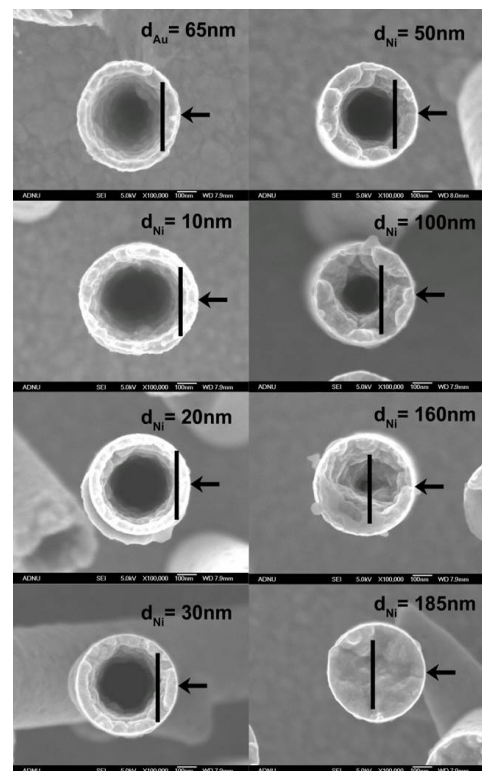


Fig. 1. FE-SEM images of 400 nm Ni nanotubes with various Ni thickness

라서 니켈 나노튜브에서도 니켈의 두께가 증가하면 니켈 내부의 스핀들이 C-state에 B-state로 변화되는 것으로 보인다. 스핀 상태의 변화는  $\Delta H_{PP}$ 의 변화를 반영한다.

자성 재료의 음의 투자율 특성은 감쇠상수와 관련되며, 감쇠 상수가 작아야 음의 투자율 특성 조절이 용이하다. 니켈 나노 튜브의 경우 니켈의 두께를 40 nm이하로 제조할 경우 감쇠 상수가 작아진다. 따라서 본 연구에 제조한 40 nm이하의 니켈 나노튜브는 마이크로파 대역에서 음의 투자율이 크고, 감쇠가 작아서 나노복합메타 재료에 응용이 가능함을 보인다.

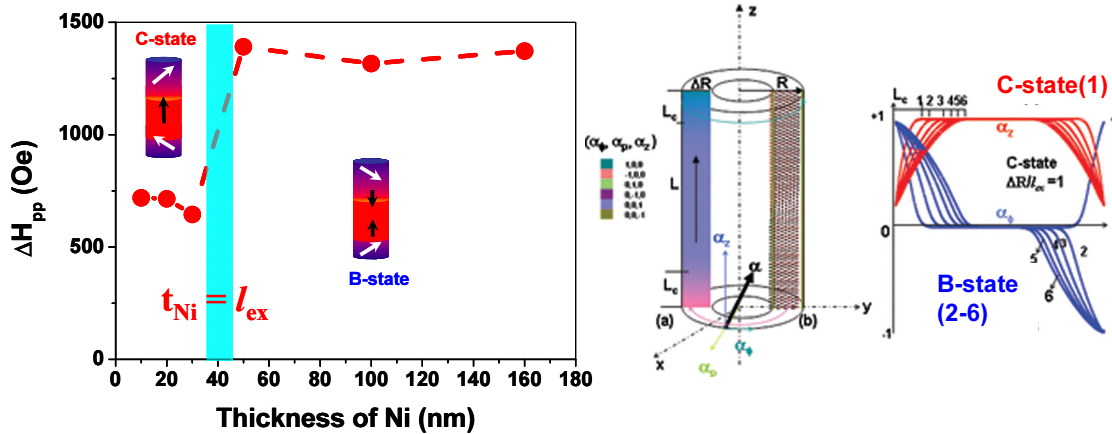


Fig. 2. Ni thickness dependence of  $\Delta H_{PP}$  in Ni nanotube.

#### 4. 감사의 글

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

#### 5. 참고문헌

- [1] R. X. Wu, J. Appl. Phys, **97**, 076105 (2005)
- [2] S. Misugami, et. al, Jpn. J. Appl. Phys., **40**, 580 (2001)
- [3] Ai-Ping Chen, et.al, J. Appl. Phys. **109**, 073923 (2011)