

초상자성 나노입자의 강자성 공명 선폭 분석

김동영*, 윤석수

안동대학교 물리학과, 경북 안동시 송천동 388번지, 760-749

1. 서론

자성 나노입자의 초상자성 특성은 자화 곡선 및 온도에 따른 투자율 측정으로 확인할 수 있다. 자화 곡선 측정에서는 보자력이 0이고 자화 곡선이 랑주뱅 (Langevin) 함수를 따른다. 강자성 공명 신호는 자성 나노입자 내부의 스핀들에 의한 영향을 반영하고 있으므로, 자성 나노입자의 자화량, 형상 및 결정 이방성 등의 자성 특성을 모두 포함한다. 따라서 강자성 공명 신호를 해석할 경우 자성 나노입자의 여러 가지 물성을 분석하는 것이 가능하다. Kliava 등은 자성 나노입자의 크기 및 크기의 분포에 따른 강자성 공명 신호를 계산을 통하여 분석하였으며[1], Biasi 등은 초상자성 자성 나노입자의 강자성 공명신호를 해석하여 결정 이방성 상수를 분석하였다[2]. 그러나 강자성 공명 신호를 해석하여 나노입자들의 자성 물성을 분석하기 위하여 동일한 특성을 갖는 균일한 크기의 나노입자들에 대한 특성 분석이 선행 되어야 하며 이러한 연구는 미비한 수준이다.

본 연구에서는 초상자성 특성을 갖는 크기가 균일한 산화철 나노입자를 제조하여 강자성 공명 신호를 측정하였으며, 계산을 통하여 초상자성 나노입자의 강자성 공명 신호를 해석하였다.

2. 실험방법

강자성 공명 신호 분석에 사용한 균일한 산화철 나노입자들은 Trioctylamine 용매에 Fe(OL)_3 전구체를 고르게 섞은 반응 원액을 사용하여 고온 열분해방법으로 제조하였다. 입자의 크기가 다른 산화철 나노 입자를 제조하기 위하여 나노 입자가 성장하는 과정에서 주사기를 이용하여 약 2.0 ml의 반응 원액을 시간에 따라서 순차적으로 추출하였다. 추출한 반응 원액의 1.0 ml는 에탄올에 희석시켜 잔류 유기 용매를 세척한 후 원심분리기를 이용하여 산화철 나노입자를 추출하였다. 추출한 산화철 나노입자를 초음파 세척기를 이용하여 핵산 용액에 균일하게 분산시킨 후 Cu-grid 위에 한 방울 떨어뜨려 TEM 시편을 제작하였다. 이들 시편은 나노 입자들의 크기 분포 특성을 분석하기 위하여 TEM 사진을 촬영하였다. 추출한 반응 원액의 나머지 1.0 ml는 유리 튜브에 담은 후 9.89 GHz의 주파수에서 작동하는 강자성 공명 측정 장치를 사용하여 자기장의 세기에 따른 강자성 공명 신호를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 산화철 나노입자의 크기에 따른 강자성 공명 신호의 측정결과와 계산 결과를 보인다. 산화철 나노입자의 직경 $D = 4.67 \text{ nm}$ 인 경우 선폭이 좁으며, 나노입자의 직경이 증가할수록 선폭이 증가하는 경향을 보인다. 강자성 공명 신호의 계산 과정에서 산화철 나노입자의 이방성 상수는 각각 0 , $1.4 \times 10^5 \text{ erg/cc}$ 및 $2.4 \times 10^5 \text{ erg/cc}$ 를 대입하여 구하였다. 이들 결과로부터 산화철 나노입자의 결정 이방성 상수는 양의 값을 보유하고 있으며, 산화철 나노 입자의 크기에 따라서 향상되고 있음을 알 수 있다. $D = 5.64 \text{ nm}$ 인 나노입자들에 대한 측정 결과와 계산 결과가 서로 상이한 모양을 보이며, 이러한 특성은 입자의 크기가 작을 때 나타나는 강자성 공명신호와 입자의 크기가 클 때 나타나는 강자성 공명 신호가 중첩된 형태로 나타난다.

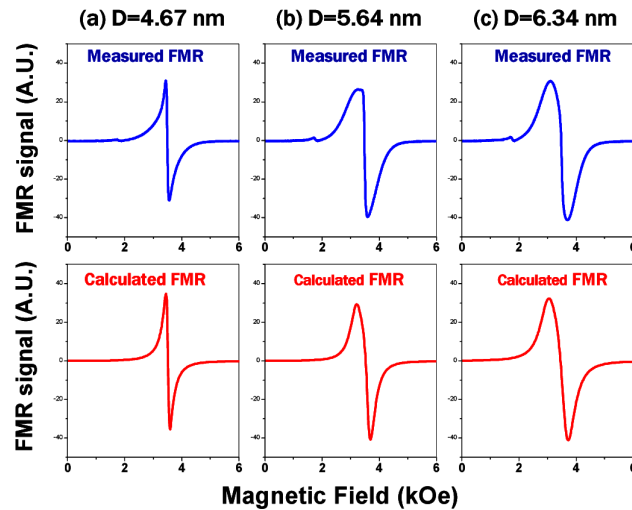


Fig. 1. Comparison with measured and calculated FMR signals of iron oxide nanoparticles with (a) $D = 4.67$ nm, (b) $D = 5.64$ nm and (c) $D = 6.34$ nm.

이들 결과로부터 결정화된 나노 입자에서 나타나는 강자성 공명 신호를 표면 효과와 나노입자 내부의 부피 효과로 구분할 수 있다. 입자가 작은 경우에는 표면 효과가 두드러지게 나타나며, 표면 효과에 의한 강자성 공명신호는 선폭이 좁다. 한편 나노입자 내부의 결정 구조에 의한 부피 효과는 나노입자의 크기가 증가할수록 두드러지게 나타나며 선폭이 넓게 나타남을 알 수 있다.

4. 감사의 글

본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(NRF2010-0008282).

5. 참고문헌

- [1] J. Kliava, and R. Berger, J. Magn. Magn. Mater. **205**, 328 (1999).
- [2] E. De Baiasi, et. al, J. Magn. Magn. Mater. **262**, 235 (2003).