

## 철(Fe) 나노공과 나노막대의 크기에 따른 자기적 비등방성과 자기구역 형성

서울대학교 물리학과, 복합 다체계 물성연구센터, 김성수\*, 이수연, 김정구, 차국린.  
서울대학교 응용화학부, 박상재, 현택환.

### Size Dependent Magnetic Anisotropy and Domain Nucleation in Iron nanospheres and nanorods

Seoul National University, Department of Physics, Center for Strongly Correlated  
Materials Research, Seongsoo Kim\*, Suyoun Lee, Zheong G. Kim, Kookrin Char.  
Seoul National University, School of Chemical Engineering and Institute of  
Chemical Processes, Sang-Jae Park, Taeghwan Hyeon.

#### 1. 서론

자기적 나노알갱이(Magnetic Nanoparticle)에 대한 연구는, 초상자성과 같은 자성의 근본 성질에 관하여 이해하는 데 도움을 주고<sup>1</sup>, 컴퓨터의 하드디스크같은 자기적 기억 저장 장치로의 응용에 중요하기 때문에<sup>2</sup> 많은 관심을 끌고 있다. 우리는 유기금속물질을 이용하여 화학적 방법으로 만든, 나노미터크기의 철(Fe)로 된 나노공과 나노막대의 자기적 성질에 대하여 SQUID를 이용하여 조사하였다.

#### 2. 실험방법

유기금속 물질을 화학적으로 환원하여 콜로이드 상태로 만들었을 때, 철(Fe) 원자들은 나노미터 크기의 알갱이로 뭉쳐지게 된다<sup>3</sup>. 알갱이들은 투과 전자 현미경(Transmission Electron Microscope)를 써서 확인하였고, 그 크기는 나노공의 지름은 2nm, 나노막대는 폭이 2nm, 길이가 각각 8nm, 11nm, 20nm, 22nm, 36nm이다. 만들어진 콜로이드를 상온에서 질소를 불어 주면서 말린 후 철 알갱이들을 모아서 SQUID로 자기적 성질을 측정하였는데, 먼저 온도에 따라 5K부터 300K까지 ZFC (Zero-Field-Cooling)와 FC(Field-Cooling)의 두 가지 방법을 써서 자기 모멘트의 변화를 측정하여 나노막대의 길이에 따른 방해 온도(Blocking Temperature)의 변화를 알아보았고, 걸어준 자기장의 세기를 -50kOe에서 50kOe까지 변화시키면서 그에 따라 자기 모멘트가 그리는 꺾임 고리선(Hysteresis loop)을 살펴보았다.

#### 3. 실험 결과 및 고찰

투과 전자 현미경으로 확인한 나노알갱이들은 거의 균일한 크기를 가지고 있으며, 나노막대의 경우, 폭이 나노공의 지름과 같은데, 이는 나노공들이 모여서 나노막대가 된다는 것을 나타낸다.

ZFC와 FC곡선(Fig 1)에서 방해 온도가 어떻게 달라지는지를 알 수 있다. 여기서는 ZFC 곡선에서의 봉우리가 될 때의 온도를 방해 온도로 잡았는데, 이를 통해서 모양에 의한 비등방성을 나노미터 크기의 수준에서 확인할 수 있었다.

이러한 곡선들을 여러 가지 길이의 나노막대에서 구해본 결과 11nm까지는 방해 온도가 높

아지다가 그것보다 더 길어졌을 때는 오히려 방해 온도가 낮아지는 현상을 관찰하였다.(Fig 2) 이것은 단일자기구역의 개념으로는 설명할 수 없는 것으로 여러 개의 자기구역이 형성되기 시작하는 것으로 생각된다.

나노알갱이에서는 큰 자기장을 걸었을 때도 쉽게 포화되지 않는 현상들이 이미 보고되었는데,<sup>45</sup> 이번 측정의 결과에서도 그러한 성질이 뚜렷이 나타났다. 그 까닭에 대해서는 알갱이 겹질 부분의 스핀유리(spin-glass)효과로 설명하기도 하지만<sup>4</sup>, 현재로서는 분명하지 않다.

#### 4. 결론

나노미터 크기의 철 알갱이들에서 온도에 따른 자기적 성질을 측정함으로써 방해온도를 구하여 모양 비등방성 효과를 확인할 수 있었고, 나노막대의 길이가 길어짐에 따라 방해온도가 높아지다가 20nm 부터는 오히려 낮아지는 것을 관찰하였는데, 여러 개의 자기구역이 형성되기 시작하는 것으로 추측된다.

#### 5. 참고문헌

- [1] B. D. Cullity, Introduction to Magnetic Materials, Addison-Wesley Publishing Company, New York (1972).
- [2] S. Sun, C. B. Murray, D. Weller, L. Folks, A. Moser, Science, 287, 1989 (2000).
- [3] S.-J. Park, S. Kim, S. Lee, Z. G. Khim, K. Char, T. Hyeon, J. Am. Chem. Soc. In press.
- [4] R. H. Kodama, A. E. Berkowitz, E. J. McNiff, Jr., S. Foner, Phys. Rev. Lett., 77 (2) 394 (1996).
- [5] M. Respaud, J. M. Broto, H. Rakoto, A. R. Fert, L. Thomas, B. Barbara, M. Verelst, E. Snoeck, P. Lecante, A. Mosset, J. Osuna, T. Ould Ely, C. Amiens, B. Chaudret, Phys. Rev. B, 57 (5), 2925 (1998).

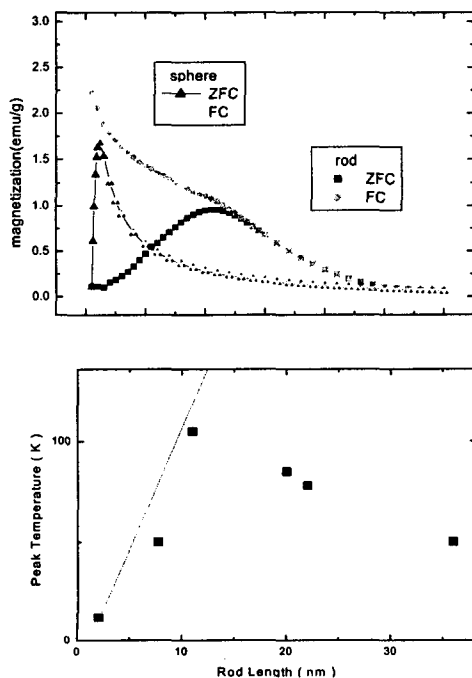


Fig. 1. Magnetization normalized by mass vs temperature for Fe nanosphere and nanorod. The applied field was 100 Oe. The blocking temperatures ( $T_B$ ) are about 12K and 110K, for nanosphere ( diameter  $\sim 2\text{nm}$  ) and nanorod (  $2\text{nm} * 11\text{nm}$  ) respectively.

Fig. 2. Blocking temperature vs length of nanorods. The red line is the calculated blocking temperature in case of single domain..