

Sensitive magnetodielectric coupling in core/shell nanoparticles

구용성¹, T. Bonaedy¹, 성길동¹, 정종훈^{1*}, 윤정범², 조영훈², 정명화², 이효진³, 구태영³, 정윤희³

¹인하대학교 물리학과

²한국기초과학지원연구원

³포항공대 물리학과, 포항가속기연구소

1. 서론

최근 들어, 외부 자기장을 이용하여 물질의 유전 상수를 변화시킬 수 있는 자기유전효과 (magnetodielectric effect)가 망간 그리고 철과 같은 자기 산화물에서 발견되어 많은 사람들이 연구를 진행 중이다. 하지만 이와 같은 현상을 보이는 단결정들은 숫자가 제한적일뿐더러, 매우 낮은 온도와 매우 큰 자기장을 필요로 하기 때문에, 응용가능성을 탐색하기위해 최근에는 낮은 보자력과 높은 전이 온도를 가진 유전체/자성체의 조합으로 이루어진 박막이나 복합체에 대해 연구를 하고 있다.[1] 본 연구에서는 복합체 중에서 유전체 코어와 자성체 셸로 이루어진 나노 입자에서의 자기유전효과를 연구하였다.

2. 실험

약 70 nm 크기의 BaTiO₃를 반응 수조에 넣고, FeCl₂·4H₂O, CH₃COOH, NaOH의 반응용액을 똑 같은 양으로 혼합하면서 초음파를 가하여 코어/셸 구조의 나노 입자를 만들었다. 자기유전효과를 측정하기 위해, 나노입자를 펠렛 형태의 축전기 형태로 만들고 초전도 자석을 이용하여 자기장을 가하면서 유전율의 변화를 측정하였다.

3. 결과

그림 1은 초음파 여기 페라이트 플레이팅 방법으로 합성된 BaTiO₃/γ-Fe₂O₃ 코어/셸 입자의 SEM 이미지이다. 그림에서 볼 수 있듯이 페라이트 입자들이 균일하게 코팅되어 있는 것을 알 수 있다. 보다 정확한 코어/셸 구조를 확인하기 위하여, EDAX 방법을 이용하여 Ti와 Fe의 분포를 측정하였다. 그림 1의 작은 그림에 보여준 것처럼, 코어에는 Ti 이온만이 그리고 셸에는 Fe 이온만이 존재하는 것을 확연히 볼 수 있다. 그림 2는 20 K과 150 K에서 외부 자기장에 대한 유전율을 변화 (자기유전효과)를 300 kHz의 교류에서 측정한 결과를 나타낸다. 확연하게, 낮은 온도에서는 자기장의 크기에 따라 유전율이 서서히 감소하는데 비해 높은 온도에서는 유전율이 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다. 주파수에 대한 분석을 통해 높은 온도에서의 자기유전효과는 자기저항과 막스웰-와그너 효과에 의해서 잘 설명될 수 있음을 알았고, 반면 낮은 온도에서는 스핀-격자 결합에 의한 것이라는 것을 알 수 있었다. 특히, 셸만 있는 γ-Fe₂O₃의 자기유전그래프에 비해 낮은 자기장영역에서 코어/셸의 자기유전그래프는 매우 완만하다는 것을 알 수 있는데, 이는 경계면에서 자기구조의 변화에 의한 것이라고 여겨진다.

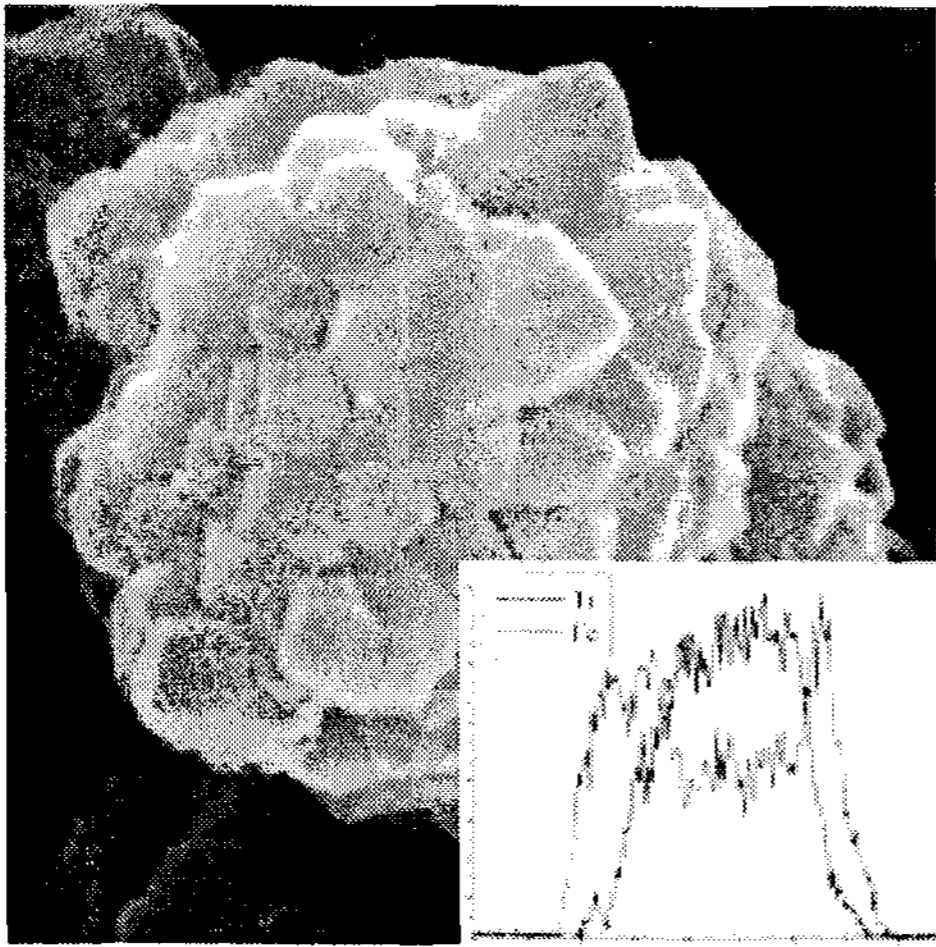


그림 1. BaTiO₃/γ-Fe₂O₃ 코어/셸 구조의 SEM 이미지. 작은 그림: Ti, Fe EDAX 결과.

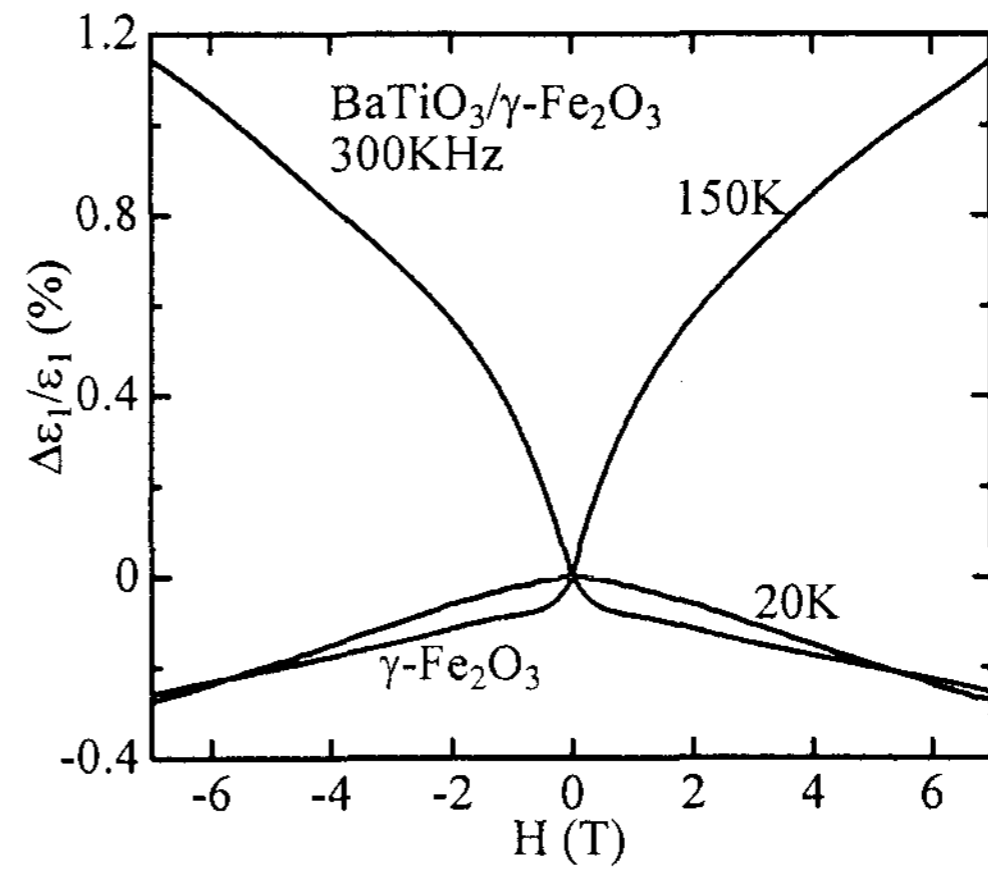


그림 2. BaTiO₃/γ-Fe₂O₃ 코어/셸 구조의 20 K과 150 K에서의 자기유전 그래프. γ-Fe₂O₃의 자기유전 그래프로 같이 보여주었다.

4. 결론

BaTiO₃/γ-Fe₂O₃ 코어/셸 나노 입자는 온도에 따라, 인터페이스의 조건에 따라 매우 민감한 자기유전 효과를 나타낸다. 이와 같은 결과는 유전체/자성체로 이루어진 나노 입자를 변조 가능한 자기유전디바이스로 사용될 수 있음을 암시한다.

5. 참고문헌

- [1] H. Zheng, J. Wang, S. E. Lofland, Z. Ma, L. Mohaddes-Ardabili, T. Zhao, L. Salamanca-Riba, S. R. Shinde, S. B. Ogale, F. Bai, D. Viehland, Y. Jia, D. G. Schlom, M. Wuttig, A. Roytburd, and R. Ramesh, Science **303**, 661 (2004).