

Evidence of resistive magnetodielectric effect in polycrystalline ferrites

성길동*, T. Bonaedy, 구용성, 정종훈
인하대학교 물리학과

1. 서론

최근 들어, 두 가지 이상의 질서매개변수 (order parameter)가 동시에 존재하고 이들 질서 매개 변수 사이에 결합이 한 물질에 존재하는 다강체에 대해 많은 관심이 있어 왔다. 특히, 이 물질은 외부 자기장에 의해 물질의 전기적 성질중의 하나인 유전율이 바뀌는 현상, 자기유전효과 (magnetodielectric effect)가 나타나서 새로운 개념의 메모리 등 다양한 응용을 고려하고 있다. 하지만, 최근에 다강체가 아니더라도, 자기유전효과는 비본질적으로 막스웰-와그너 효과와 자기 저항에 의해 나타날 수 있다고 이론적으로 예측하였고[1], 많은 실험적 결과들이 존재해왔다. 하지만, 현재까지 발표된 결과들은 가능성만을 이야기 할뿐, 실험적인 증거를 제시하지 못하고 있었다. 우리는 매우 잘 알려진 다결정 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 를 이용하여 비본질적 자기유전효과를 연구하였다.

2. 실험

높은 순도의 $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, CH_3COOH , NH_4OH 를 반응조에 넣고 초음파를 가함으로서 Fe_3O_4 파우더를 얻었다. 이 파우더를 300°C 의 열을 24시간 동안 가하여 양질의 다결정 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 을 합성할 수 있었다. 이 시료에 전자석을 이용하여 자기장을 가하면서 유전 상수와 전기 저항을 여러 온도에서 측정하였다.

3. 결과

그림 1과 그림 2는 각각의 온도에서 외부 자기장의 세기에 따른 다결정 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 의 자기유전효과와 자기저항을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 높은 온도에서 외부 자기장의 세기가 커지면 유전율은 커지고 전기저항은 줄어드는 것을 알 수 있다. 막스웰-와그너의 모델에 따르면 다결정 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 와 같이 두 가지 이상의 물질이 섞여 있는 경우 복소 유전율은 다음과 같이 쓸 수 있다. [2]

$$\epsilon_1 = \frac{1}{C_o(R_i + R_b)} \frac{\tau_i + \tau_b - \tau + \omega^2 \tau_i \tau_b \tau}{1 + \omega^2 \gamma^2}, \quad \epsilon_2 = \frac{1}{\omega C_o(R_i + R_b)} \frac{1 - \omega^2 \tau_i \tau_b + \omega^2 \tau(\tau_i + \tau_b)}{1 + \omega^2 \gamma^2}.$$

여기서 i 와 b 는 각각 결정경계와 결정을 나타내고, R, C 는 저항, 전기용량, $\tau_i = C_i R_i$, $\tau_b = C_b R_b$, 그리고 $\tau = (\tau_i R_b + \tau_b R_i) / (R_i + R_b)$ 를 나타낸다. 실험에서 구한 온도에 따른 전기 저항과 자기 저항 값을 이용하고, $C_b, C_i, R_i/R_b$ 를 실험값에 근접한 값을 정하여 자기유전효과를 계산하였다. 계산 결과를 실험치와 비교한 결과를 보면 높은 온도에서 매우 잘 맞는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 의 자기유전효과가 자기 저항과 막스웰-와그너 효과에 의해 나타난다는 것을 직접적으로 보인 것이다.

4. 결론

$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 물질의 자기유전효과를 막스웰-와그너 효과와 자기 저항을 이용하여 잘 설명할 수 있었다. 막스웰-와그너 식은 자기저항 뿐 만 아니라, 결정경계와 결정 사이의 저항의 비, 자기저항을 보이는 메커니즘에 의해서 매우 다양한 자기유전효과를 보일 수 있기 때문에 보다 많은 실험적 연구가 필요하다.

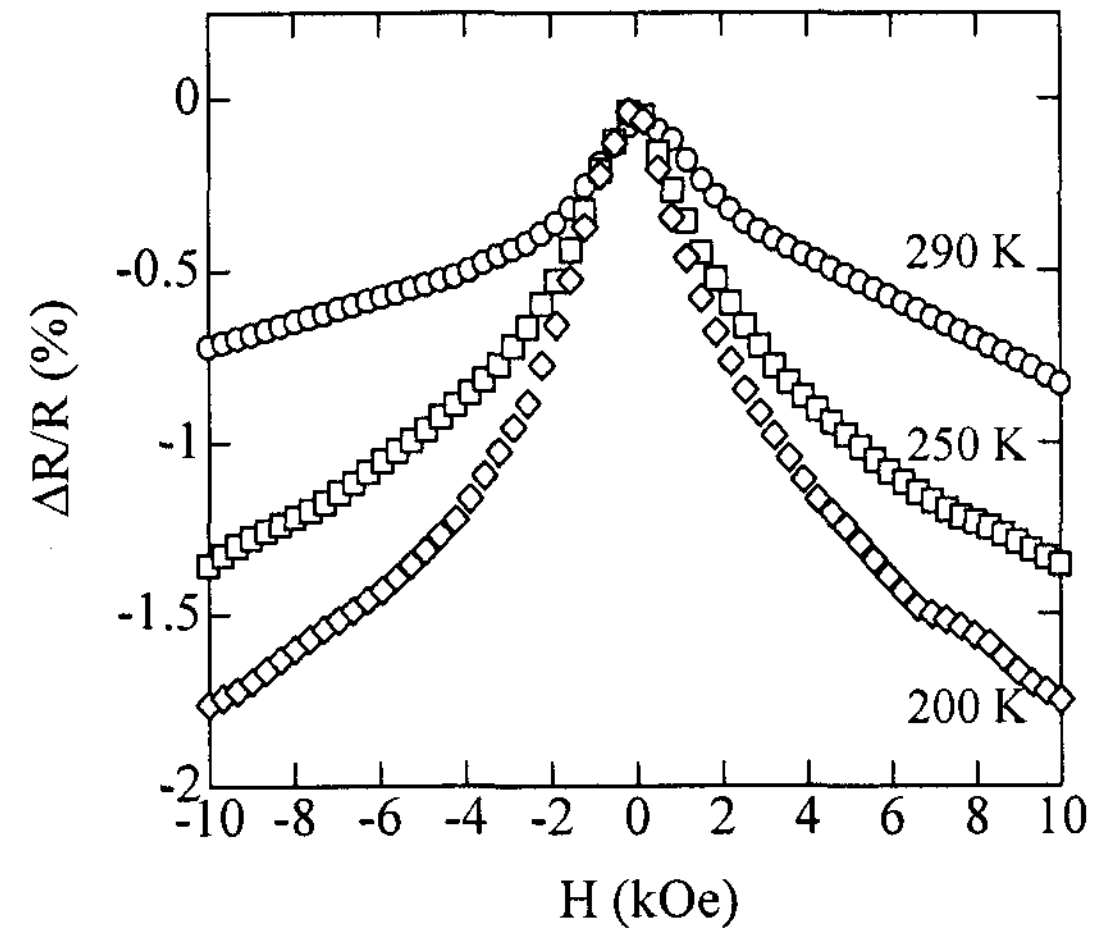
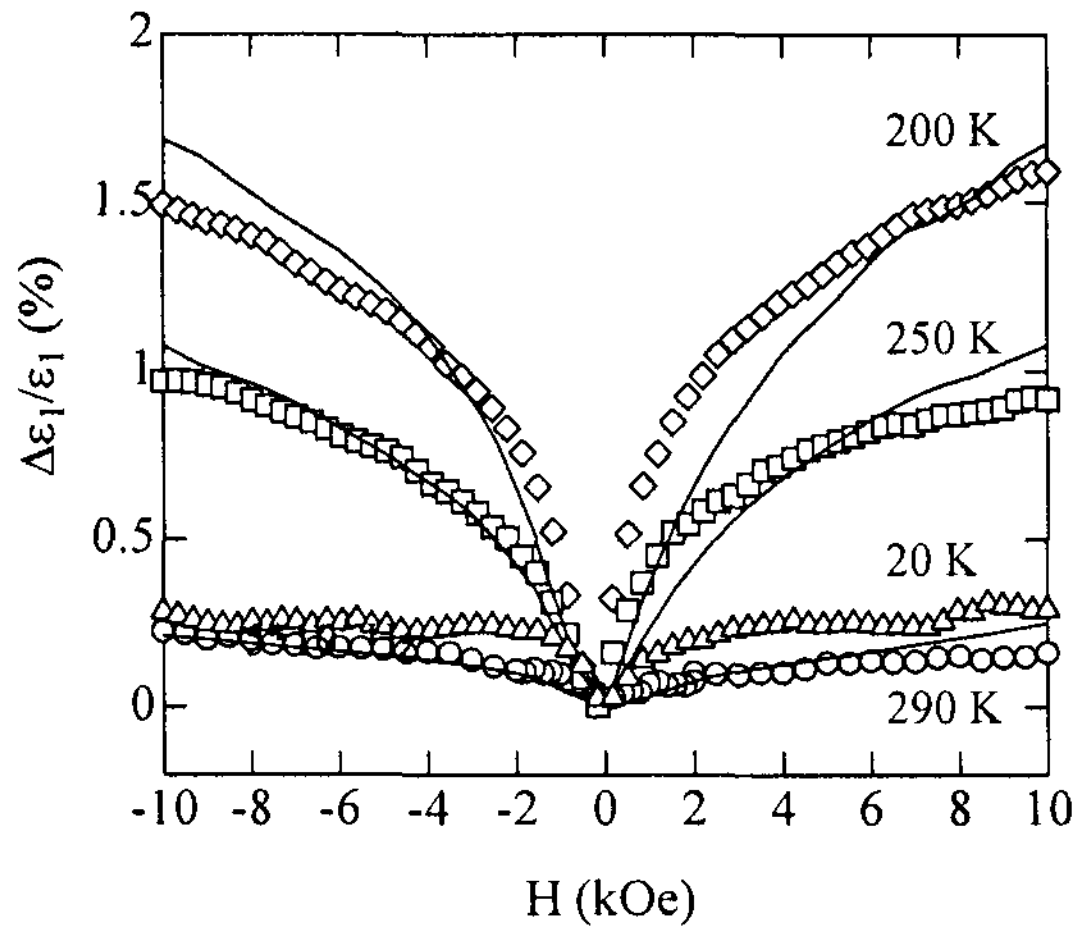


그림 1. 온도 변화에 따른 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 의 자기 유전 효과. 점과 실선은 각각 실험, 이론 결과. 그림 2. 온도 변화에 따른 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 의 자기 저항.

5. 참고문헌

- [1] G. Catalan, Appl. Phys. Lett. 88, 102902 (2006).