희토류 금속 Dy을 치환한 Y-type hexaferrite의 자기적 특성 연구

조광래*, 김면우, 황병석, 김준형, 모동진, 최지훈, 김철성
국민대학교 물리학과

1. 서 론

Y-type hexaferrite는 산화물이기 때문에 화학적으로 안정적이며 유전율(ε)과 투자율(μ) 동시에 나타나는 자성소재이기에 안테나 소자로 활발한 연구가 진행되고 있다[1]. spinel ferrite보다 상대적으로 높은 자기이방성을 가지고 있어 GHz영역에서 우수한 투자손실을 가진다. 이에 다른 전이금속보다 큰 자기이방성을 가지는 Co 기반의 Y-type hexaferrite로 연구하였다. 전이금속 치환에 대한 연구는 현재까지도 꾸준한 연구가 진행 중이지만 희토류 금속 치환에 대한 연구는 미비하다. 그렇기에 본 연구에서는 고주파수 특성을 향상시키기 위하여 희토류 금속인 Dy를 미량 치환한 $Ba_2Co_2Fe_{12-x}Dy_xO_{22}$ (x = 0.01, 0.05, 0.1) 시료를 직접합성법으로 제조하여 자기적 특성을 연구하였다.

2. 실험방법

습식분쇄를 통한 직접 합성법을 통하여 Y-type 육방정 페라이트인 $Ba_2Co_2Fe_{12-x}Dy_xO_{22}$ 시료를 합성하였다. 출발물질로는 $BaCO_3$, Co_3O_4, Dy_2O_3, Fe_2O_3를 사용하였으며, ball mill을 통하여 증류수와 혼합 후 24 시간 동안 분쇄하였다. 1000 ^oC에서 하소한 뒤, PVA를 1 wt% 혼합하여 toroids 형태로 압축 성형한 후에 1100 ^oC에서 소결하였다. 제조 조건에 따른 자기적 특성의 변화를 x-선 회절(XRD), 진동자화율 측정기(VSM), 그리고 회로망 분석기(network analyzer)를 통하여 단계별로 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

X-선 회절 결과, $Ba_2Co_2Fe_{12-x}Dy_xO_{22}$ (x = 0.01, 0.05, 0.1) 시료들은 *R3m* 공간군의 rhombohedral구조로 확인하였다. Dy가 0.01, 0.1 치환된 시료는 격수상수의 비 (c_0/a_0)가 7.422로 동일하게 나왔으나 0.05 치환된 시료는 7.418로 감소하였다. c축으로 격자간 거리가 감소함에 의하여 초교환상호작용이 강하게 작용하여 VSM 측정결과, Dy 0.01, 0.1치환된 시료의 포화자화값(M_S)과 보자력(H_C)이 각각 33.3 및 31.8 emu/g 과 202.2 및 194.5 Oe로 비슷한 자기적 거동을 보이는 반면에 Dy 0.05가 치환된 시료는 Ms와 H_C가 각각 36.5 emu/g 과 466.2 Oe로 상대적으로 높은 자기적 특성을 가짐을 확인하였다. 주파수에 대한 전기적 자기적 특성을 보기위하여 회로망 분석기로 측정한 결과, 상대적으로 높은 M_S를 갖는 Dy 0.05 치환시료가 투자율이 낮게 나오는 것을 확인하였다. 이는 Ohta 모델에 의한 $\mu_i \propto M_S^2/(K_1+\lambda_s\sigma)$ 식으로 설명이 가능한데 이 때 K_1은 자기이방성, λ_s는 자기변형 그리고 σ는 내부 응력을 나타낸다 [2]. M_S 제곱의 증가량이 약 1.2배에 그치는 반면에 H_C의 증가량이 약 2.3배로 이로 의한 K_1의 증가가 상대적으로 크기에 투자율이 낮게 나오는 것으로 판단된다. 1100 ^oC에서 소결한 모든 $Ba_2Co_2Fe_{12-x}Dy_xO_{22}$ 시료의 경우, 1 GHz 이상까지 $\tan\delta_\mu \leq 0.1$의 낮은 투자손실을 유지하였으며, 이러한 결과로부터 안테나 소자로써의 응용가능성을 확인하였다.

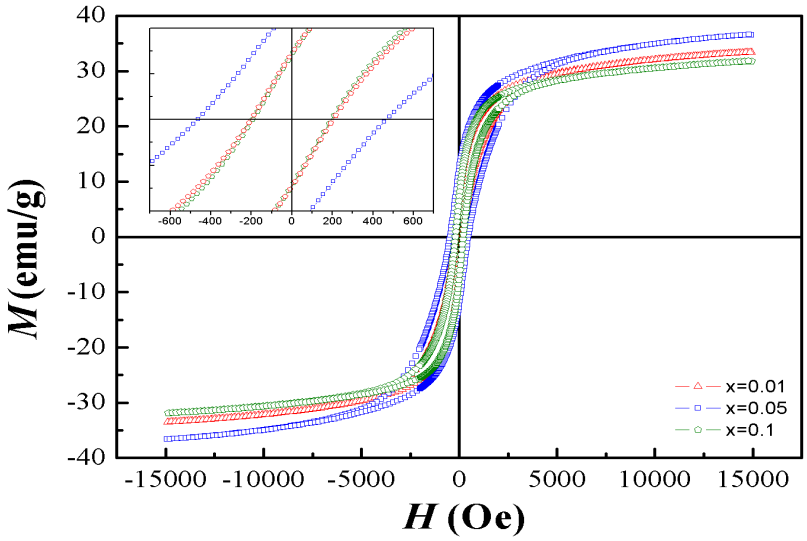

Figure 1. The hysteresis loop for $Ba_2Co_2Fe_{12-x}Dy_xO_{22}$ (x=0.01, 0.05, 0.1) samples

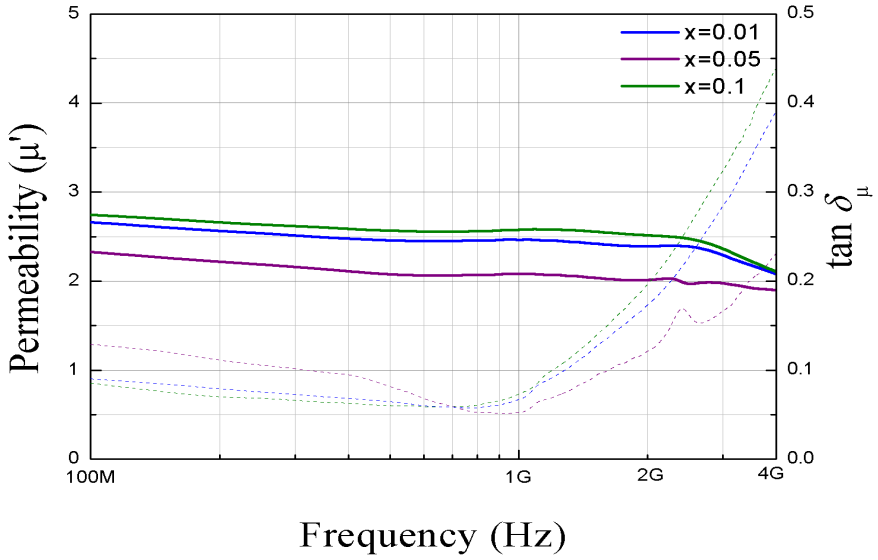

Figure 2. Frequency dependence of permeability (μ') and magnetic loss ($\tan\delta_\mu$) for $Ba_2Co_2Fe_{12-x}Dy_xO_{22}$ (x=0.01, 0.05, 0.1) samples

참고문헌

[1] R. C. Pullar, Progress in Materials Science **57,** 1191 (2012).

[2] V. Tsakaloudi, D. Holz, V. Zaspalis, J. Mater. Sci. **48**, 3825 (2013).