

## A<sup>4+</sup> (Ti<sup>4+</sup>, Ru<sup>4+</sup>)이온과 Co<sup>2+</sup>이온이 치환된 M-type Ba Ferrite (BaFe<sub>12-2x</sub>A<sub>x</sub>Co<sub>x</sub>O<sub>19</sub>)의 전자흡수 특성

충북대학교 조한신\*, 김성수

### Microwave Absorbing Properties of M-type Ba-Ferrite (BaFe<sub>12-2x</sub>A<sub>x</sub>Co<sub>x</sub>O<sub>19</sub>) Substituted by A<sup>4+</sup> (Ti<sup>4+</sup>, Ru<sup>4+</sup>) Ion and Co<sup>2+</sup> Ion

Chungbuk National Univ., H.S.CHO\*, S.S.KIM

#### 1. 서 론

1950년대 Philips 연구진들에 의해 개발된 육방정 페라이트는 이후, 스피넬 페라이트에 비해 높은 자기이방성 때문에 그 동안 영구자석 재료로서 널리 이용되어 왔다. 그중 대표적인 재료가 바륨 페라이트 (BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>)이다. 최근 정보통신수단이 발달함에 따라 전자파 사용인구 및 사용장비의 증가로 그 사용 주파수 대역이 고주파 대역화 됨에 따라, 육방정 페라이트의 Fe<sup>3+</sup> 이온을 적당한 이온으로 치환함으로써 자기이방성을 제어하여 GHz 이상의 고주파 대역에서 전자파 흡수체 또는 노이즈 감쇠재로 이용하기 위한 연구가 진행중이다.

본 연구에서는 Fe<sup>3+</sup> 이온 대신에 Ti-Co, Ru-Co를 복합치환하여 자기이방성을 제어하고, 재료정수를 이용하여 주파수분산특성과 전자파흡수특성과의 상호 연관관계를 고찰하고자 한다.

#### 2. 실험방법

본 실험은 일반적인 세라믹스 제조방법을 이용하였으며, 사용된 분말은 고순도 화학 제품으로 순도 99.9 %의 BaCO<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, RuO<sub>2</sub>, Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>를 사용하였다. Ti을 치환시킨 경우에는 M-type Ba-ferrite (BaFe<sub>12-2x</sub>A<sub>x</sub>Co<sub>x</sub>O<sub>19</sub>)에서 치환량 x의 변화는 0, 0.4, 0.8, 1.2, 1.3, 1.6, 2.0, Ru의 경우에는 0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7으로 변화시켜 실험을 행하였다. 분말을 1200 °C에서 하소하여 분말을 XRD 분석을 통해 M-type Ba-Ferrite의 생성여부를 조사하였다. 제조된 분말을 외경 9 mm, 내경 3 mm인 toroidal 시편용 mold에 충전시켜 1.23 ton/cm<sup>2</sup> 정도의 압력으로 성형하였다. 소결은 승온/냉각 속도를 300 °C/hr로 하여 1250 °C에서 2 시간 소결하여 시편을 제조하였다. 특성분석은 VSM과 HP 8722D Network Analyzer를 이용하여 자기적 특성 변화를 측정하였다.

#### 3. 실험결과 및 고찰

VSM 측정결과 M형 Ba-Ferrite (BaFe<sub>12-2x</sub>A<sub>x</sub>Co<sub>x</sub>O<sub>19</sub>)에서 4가의 A 이온 대신 Ti<sup>4+</sup> 을 치환시켰을 때 보다 Ru<sup>4+</sup>을 치환시켰을 때가 더 높은 포화자화 값과, 보자력 값의 변화를 나타내었다. 이처럼 서로 다른 값을 나타내는 이유는 기존의 Mossbauer 측정에서 나타난 바와 같이 Ru<sup>4+</sup>, Ti<sup>4+</sup> 이온들이 magnetoplumbite 구조내의 치환위치가 조금 다르기 때문이다.

재료정수를 측정된 결과, 두 경우 모두 치환량 증가에 따라 복소투자율 값이 변화하며, 일정한 주파수 대역에서 자연공명주파수를 나타내었다. 복소 유전율의 경우에는 주파수 변화에 따라 거의 일정한 값을 나타내었다. 자연공명주파수는 다음의 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_r = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{\gamma \cdot H_A}{2\pi} \quad (1)$$

이때  $\omega_0$ 는 고유각주파수,  $\gamma$ 는 전자의 자기 모멘트와 각운동량의 비로  $1.76 \times 10^7 \text{ sec}^{-1} \text{Oe}^{-1}$ 의 특정값을 같은 상수이며,  $H_A$ 는 자기이방성의 세기이다. 재료에서 보자력의 경우에는 자기 이방성에 비례하므로 보자력이 높은 시편에서 자연공명주파수가 높게 나타났다. 또한,  $\text{Ti}^{4+}$  을 치환시켰을 때 보다  $\text{Ru}^{4+}$ 을 치환시켰을 때 더 높은 공명 주파수를 갖는 이유는 다음 식 (2)에 의해 설명되어질 수 있다.

$$f_r(\mu_i - 1) = \frac{1}{3\pi\mu_0} \gamma I_s \left( \frac{1}{2} \sqrt{\frac{H_{A1}}{H_{A2}}} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{H_{A2}}{H_{A1}}} \right) \quad (2)$$

여기에서  $\mu_i$ 는 초투자율,  $\mu_0$ 은 진공의 투자율,  $I_s$ 는 포화자화,  $H_{A1}$ 은 c 축에 수직인 면과 자화용이축과의 자기이방성 차이를 나타내며,  $H_{A2}$ 은 c 축에 평행한 면과 자화용이축과의 자기이방성 차이값을 나타낸다.

위의 식 (2)에서 나타난 바와 같이 자연공명주파수는 초투자율, 포화자화 값의 영향을 받게 된다. 때문에 더 높은 포화자화 값을 갖는 Ru 이온을 치환시킨 경우가 더 높은 자연공명주파수를 갖게 되며, 이러한 공명이 페라이트의 고주파 손실의 원인으로 작용한다.

재료정수를 이용하여 흡수손실을 계산한 결과 보자력이 가장 낮았던 Ru-Co 0.3 치환한 경우, Ti-Co 1.2 치환한 경우에 4.4 ~ 14.7 GHz, 1.8 ~ 10 GHz 대역에서 -20 dB/cm (99 % 흡수)를 각각 나타내었다. 이처럼 M-type Ba-ferrite  $\text{Fe}^{3+}$  이온 대신에 Ti-Co를 치환 시킨 경우보다 Ru-Co를 치환 시킨 경우가 더 고주파 특성이 좋음을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

VSM 측정결과 M형 Ba-Ferrite ( $\text{BaFe}_{12-2x}\text{A}_x\text{Co}_x\text{O}_{19}$ )에서 4가의 A 이온 위치에  $\text{Ti}^{4+}$  을 치환시켰을 때 보다  $\text{Ru}^{4+}$ 을 치환시켰을 때가 더 높은 포화자화 값과, 보자력 값을 나타내었으며, 이러한 포화자화 값과 보자력 값의 영향으로 더 높은 주파수 대역에서 자연공명주파수를 나타내었다. 또한, 흡수손실의 경우에도 Ru을 치환시켰을 때가 높은 포화자화 값의 영향으로 Ti을 치환시켰을 때 보다 더 높은 주파수 범위에서 더 넓은 흡수손실을 나타내었다. 이처럼 M-type Ba-ferrite  $\text{Fe}^{3+}$  이온 대신에 일정 원소를 치환하거나, 치환량을 조절하므로써 GHz 이상의 고주파 대역에서 노이즈 감쇄재로 사용이 가능함을 알 수 있었다.

#### 5. 참고서적

- [1] Q. A Pankhurst, et al., "Cation distribution in Co-Ru substituted barium ferrite", Proc. ICF-5, pp. 323-327(1989).
- [2] K. Ishino and Y. Narumiya, "Development of Magnetic Ferrites:Control and Application of Losses", Ceram. Bull. 66, 1469(1987).
- [3] J. Woody, "The Use of Ferrites as Suppressors of EMI", IEEE Spectrum, 1, 21(1990).
- [4] S. Chikazumi, "Physics of Ferromagnetism", 2nd Ed., Clarendon Press, Oxford, 1997.
- [5] Z. Simsa, S. Lego, R. Gerber, E. Pollert, "Cation distribution in Ti-Co-substituted barium hexaferrites:a consistent model", J. Mag. & Mag. Mater., 140-144, 2103(1995).
- [6] H. Vincent, E. Brando, and B. Sugg, "Cationic Distribution in Relation to the Magnetic Properties of New M-Hexaferrites with Planar Magnetic Anisotropy  $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Ir}_x\text{Me}_x\text{O}_{19}$  (Me=Co, Zn, x=0.85 and x=0.50)", J. Solid State Chem., 120, 17(1995).