

Mössbauer spectroscopy를 이용한 전자파 차폐 물질 개발

안현호*, 권유빈*, 김수현*, 이푸른*, 최진규*, 김성백*

*건양대학교 의료신소재학과

e-mail:physics@konyang.ac.kr

Electromagnetic shielding material development using Mössbauer spectroscopy

Hyun Ho Ahn*, Yu-bin Kwon*, Su-Hyun Kim*, Purun Lee*, Jin Kyu Choi*,
and Sung Baek Kim*

*Department of Biomedical materials, Konyang University

요약

본 논문에서는 전자파 흡수 효과를 보일 것으로 예상하는 orthorhombic 구조의 YFeO₃ 물질을 sol-gel autocombustion 법으로 제조하고, XRD, VSM을 이용하여 기초적 물리적·자기적 특성을 분석하고, LCR meter를 이용하여 전기적 특성, Mössbauer spectroscopy를 통해 물질 내 초교환 상호작용을 분석함으로써 물성 발현의 원인을 규명하고자 하였다. XRD 분석 결과, 제조된 YFeO₃ 물질을 orthorhombic한 구조를 가지고 있었으며, LCR meter 분석 결과에서 나타난 dielectric loss의 급격한 변화는 Mössbauer spectroscopy에서 확인할 수 있는 Fe 이온 간의 초교환 상호작용 및 결정 구조의 왜곡으로 인한 magnetoelectric effect에 의한 것으로 생각된다.

1. 서론

전자파 차폐 기술(EMI shield technology)은, 전자기파가 특정 영역에 침투하거나, 외부로 방출되는 것을 막아 전자기 간섭(Electromagnetic interference, EMI)을 방지·감쇄시키기 위해 사용되는 기술로[1], 현대 전자기기와 통신 시스템에서 매우 중요한 역할을 한다. 전자파 차폐는 대표적으로 반사(금속과 같은 저도성 재료를 사용하여 전자파를 반사), 혹은 흡수(페라이트 탄소 복합체 등을 이용하여 전자파를 흡수)를 이용하여 구현하며, 또는 이를 동시에 이용하여 다중 차폐(Multi-layer shielding)를 구현하기도 한다[2]. 이러한 전자파 차폐 기술은, 항공우주 및 국방산업, 자동차 전장 시스템, 의료기기, 산업용 제어 시스템, 스마트폰 및 IoT 기기 등 여러 분야에서 폭넓게 사용되고 있다. 특히 의료 산업에서, 전자파 차폐 물질과 그 제조 기술은, 단순한 기기 보호를 넘어, 환자의 안전과 진단의 정확성에 직결되는 핵심 기술이 된다. 전자파 차폐 소재로는, 그래핀, 탄소나노튜브(CNT), 전도성 고분자와 같은 차세대 소재들이 연구되고 있으며 [3-4], 페라이트계 물질에서는, 최근 이트륨 및 희토류 물질을 포함하고 있는 Orthorhombic 형태의 철산화물 물질에서 특이적인 전기·자기적인 특성이 보고되고 있으며, 전자파 흡수를 통한 차폐능 외에도, 다양한 특성을 동시에 나타낼 수 있는 다강성

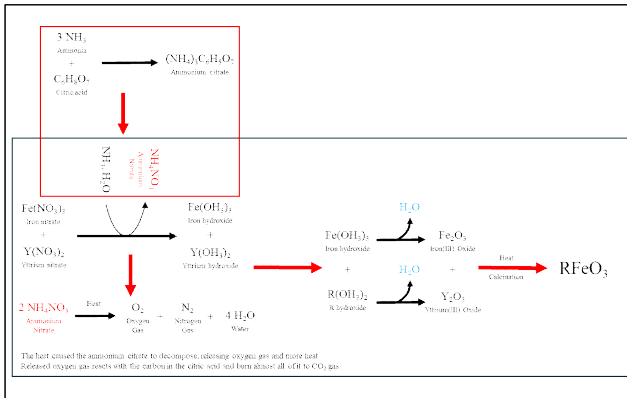
(Multiferroic) 특성을 나타낼 수 있다는 연구 결과가 보고되고 있다[5-7]. 이러한 단순 전자파 차폐 물질이 아닌, 다양한 특성을 동시에 나타낼 수 있는 물질을 개발하여 적용한다면, 현재 크게 성장하고 있는 웨어러블 의료 기기에 발전에 따른 소형화에 유리하게 작용할 수 있을 것으로 기대할 수 있으며, 특히 최근 기술 발전에 따라 초고주파수(GHz-THz) 대역에서의 사용성 또한 크게 관심받고 있는데, 본 연구에서는, 전자파 흡수 외에도 다양한 특성을 나타낼 수 있는 orthorhombic-YFeO₃ 물질을 합성하고, XRD, VSM을 이용한 기초적인 물성 분석, LCR meter를 이용한 전기적 특성 분석 외에도, 이러한 초고주파수 대역에서의 전자파 차폐 및 다중 특성의 분석 및 발현 원리를 규명하기 위해 감마선 원자핵 공명인 Mössbauer spectroscopy를 이용하여 합성된 orthorhombic-YFeO₃ 물질의 결정 구조 내 초교환 상호작용을 연구하고자 한다.

2. 시료 제조

다강성 특성을 보이는 orthorhombic-YFeO₃ 물질을 합성하기 위해 Y(III) nitrate hexahydrate(Sigma-aldrich, 99.8%), Fe(III) nitrate nonahydrate(Sigma-aldrich, 98%)를 시작 물질로, Citric acid(Sigma-aldrich, 99.5%)를 킬레이트제로,

증류수를 용매로, Ammonia solution(Duksan, 33-35%)을 중화제로 하여, 졸-겔 자기발화법을 이용하여 orthorhombic-YFeO₃ 입자를 제조하였다.

Y(III) nitrate hexahydrate와 Fe(III) nitrate nonahydrate를 1:1 몰비에 맞게 계량하여 증류수에 용해시켰으며, 이가 완전히 용해된 뒤에는 위해 금속 이온과 1:1 비율로 Citric acid를 첨가하여 용액 내 금속 이온을 chelate하고, Ammonia solution을 첨가하여 용액의 pH를 7로 조정하여 sol 용액을 완성하였다. 완성된 sol 용액은 120°C에서 가열하며 건조 및 건조된 gel은 자가 발화(auto-combustion)하여 나노 크기의 Y₂O₃와 Fe₂O₃의 혼합물의 형태로 산화되었으며, 이를 850°C에서 5시간 동안 열처리하여 orthorhombic-YFeO₃ 물질을 얻어낼 수 있었다. orthorhombic-YFeO₃ 물질의 제조 과정에서 나타나는 화학적 반응 및 반응 결과를 [그림 1]에 나타내었다.



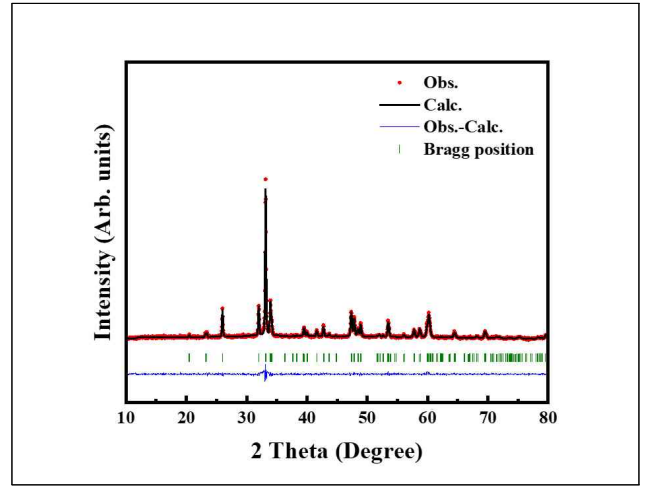
[그림 1] Sol-gel autocombustion을 이용한 orthorhombic-YFeO₃ 물질 제조 과정에서의 화학적 반응을 나타낸 모식도.

합성된 orthorhombic-YFeO₃ 물질은 XRD, VSM, LCR meter, 그리고 Mössbauer spectroscopy를 이용하여 물리적 특성을 분석하였다.

3. 연구 결과

제조된 orthorhombic-YFeO₃ 물질은 물리적 특성 분석을 위해 XRD, VSM, LCR meter, Mössbauer spectroscopy 분광분석을 시행하였다. XRD 및 Rietveld refinement 분석 결과를 [그림 2]에 나타내었으며, 상세 parameter는 [표 1]에 나타내었다. 제조된 orthorhombic-YFeO₃ 시료는 Orthorhombic 구조 (space group: *pbnm*)임을 확인할 수 있었으며, 격자 상수는 a₀=5.5938 Å, b₀=5.2842 Å, c₀=7.6091 Å, Scherrer's equation을 이용하여 계산한 결정립의 크기

는 36.42 nm로, 나노 크기의 균일한 크기의 단일상으로 잘 합성된 것을 확인할 수 있었으며, 상세 Crystal parameter는 [표 1]에 나타내었다.

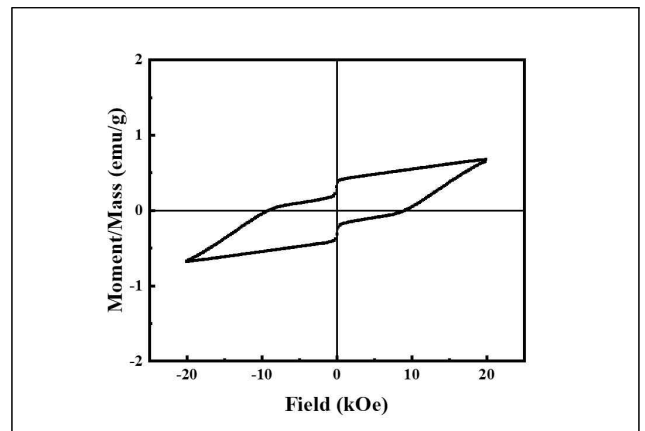


[그림 2] X-ray diffraction data of orthorhombic-YFeO₃

| Formula | Crystal structure | Lattice parameter (Å) | | | Crystalline size (nm) |
|-------------------|------------------------------|-----------------------|--------|--------|-----------------------|
| | | a | b | c | |
| YFeO ₃ | Orthorhombic (<i>pbnm</i>) | 5.5938 | 5.2842 | 7.6091 | 36.42 |

[표 1] XRD parameter of YFeO₃(R=Tb, Dy)

[그림 3]은 제조된 orthorhombic-YFeO₃ 물질의 자기적 특성을 확인하기 위해 VSM 분석을 시행한 결과이다. 측정 기기는 Lakeshore 사의 model 8607을 사용하였으며, 측정 범위는 ± 20,000 Oe으로 설정하였다. 포화자화(M_s), 보자력(H_c), 잔류자화(M_r)의 상세 파라미터는 [표 3]에 표기하였다.

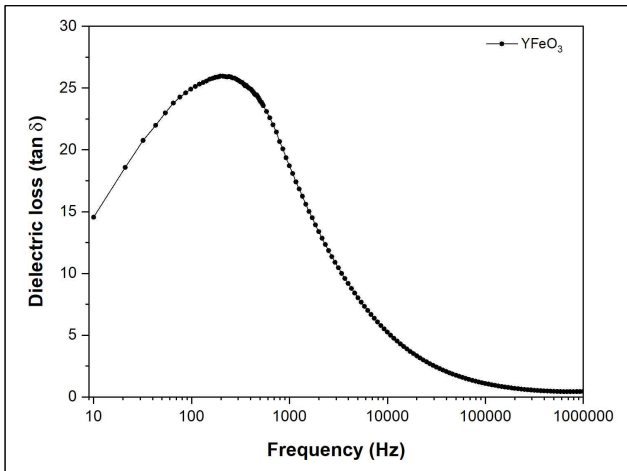


[그림 3] VSM data of orthorhombic-YFeO₃

| | | |
|------------|---------|------------|
| Ms (emu/g) | Hc (Oe) | Mr (emu/g) |
| 0.6764 | 8132.35 | 0.3256 |

[표 2] magnetic parameter of orthorhombic-YFeO₃

VSM 측정 결과, 포화 자화는 0.6764 emu/g, 보자력은 8132.35 Oe로 측정되었으며, 측정된 magnetic hysteresis curve를 보면, 자화 방향이 변화함에 따라 빠르게 반응하는 것을 확인할 수 있었다.

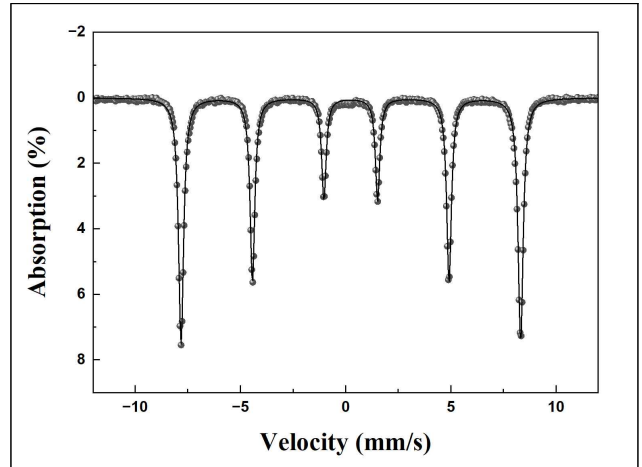


[그림 4] Dielectric loss data of orthorhombic-YFeO₃.

[그림 4]는 제조된 orthorhombic-YFeO₃ 물질의 전기적/전자 파 흡수 특성을 확인하기 위해 dielectric loss 분석을 시행한 결과이다. 측정 기기는 Zurich Instruments 사의 MFIA를 이용하였으며, 측정 범위는 10-1 MHz로 설정하여 측정하였다. Dielectric loss 데이터를 보면, 100-1000 Hz 구간에서 Dielectric loss가 크게 변화하는 것을 볼 수 있는데, 이는 제조한 orthorhombic-YFeO₃ 물질 내 초교환 상호작용에서 비롯되는 전기-자기 효과(magnetoelectric effect)에 의한 것으로 분석된다.

또한, 제조된 orthorhombic-YFeO₃ 물질 내 초교환 상호작용을 분석하기 위해 50 mCi의 ⁵⁷Co source가 장착된 FAST corp.의 Mössbauer spectrometer를 이용하여 Mössbauer spectroscopy를 시행하였으며, 그 결과를 [그림 5]와 [표3]에 나타내었다. Mössbauer spectrum 분석 결과, orthorhombic-YFeO₃ 내 Fe 이온은 강한 magnetic ordering을 이루고 있는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 Fe-O-Fe 이온 간 강한 초교환 상호작용이 이루어지고 있음을 알 수 있으며, 이가 전기-자기 효과 발현에 강한 영향을 미쳤음으로 생각할 수 있다. 분석된 Isomer shift 값을 미루어 봤을 때, 제조된 orthorhombic-YFeO₃ 내 Fe 이온은 Fe⁺³ 이온 상태인 것으로

분석되었다.



[그림 5] Mössbauer spectrum of orthorhombic-YFeO₃.

| | | | |
|--------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|
| | H _{hf} (kOe) | QS (mm/s) | IS (mm/s) |
| orthorhombic-YFeO ₃ | 500.9 | 0.0 | 0.24 |

[표 3] Mössbauer parameter of orthorhombic-YFeO₃

참고문헌

- [1] Chung, D. D. L. (2000). Materials for electromagnetic interference shielding. *Journal of Materials Engineering and performance*, 9(3), 350-354.
- [2] Geetha, S., Satheesh Kumar, K. K., Rao, C. R., Vijayan, M., & Trivedi, D. C. (2009). EMI shielding: Methods and materials—A review. *Journal of applied polymer science*, 112(4), 2073-2086.
- [3] Chung, D. D. L. (2000). Materials for electromagnetic interference shielding. *Journal of Materials Engineering and performance*, 9(3), 350-354.
- [4] Isari, A. A., Ghaffarkhah, A., Hashemi, S. A., Wuttke, S., & Arjmand, M. (2024). Structural design for EMI shielding: from underlying mechanisms to common pitfalls. *Advanced Materials*, 36(24), 2310683.
- [5] Shang, M., Zhang, C., Zhang, T., Yuan, L., Ge, L., Yuan, H., & Feng, S. (2013). The multiferroic perovskite YFeO₃. *Applied physics letters*, 102(6).
- [6] Rosales-González, O., Sánchez-De Jesús, F., Cortés-Escobedo, C. A., & Bolarín-Miró, A. M. (2018). Crystal structure and multiferroic behavior of perovskite YFeO₃. *Ceramics International*, 44(13), 15298-15303.
- [7] Shang, M., Liu, H., Zhang, L., Sun, F., Yuan, H., & Zhao, C. (2020). Multiferroicity in the YFeO₃ crystal. *Functional Materials Letters*, 13(01), 1950088.