

Ba 육방정 페라이트의 소결 특성 및 마이크로파 특성

김재식*, 류기원**, 배선기***, 이영희*
 광운대학교*, 여주대**, 인천대학교***

Sintering and Microwave Properties of Ba Hexagonal Ferrite

Jae-Sik Kim*, Ki-Won Ryu**, Seon-Gi Bae***, Young-Hie Lee*
 Kwangwoon University*, Yeju Institute of Technology**, Incheon University***

Abstract - The sintering and high frequency electro-magnetic properties of Ba-hexagonal ferrite were investigated. All samples of the Ba-hexagonal ferrite were prepared by the conventional mixed oxide method and sintered at 1150°C ~ 1400°C. From the X-ray diffraction patterns of sintered Ba-hexagonal ferrite, the Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ phase was represented as main phase in the almost sintering conditions. The bulk densities with sintering temperature and decreased at 1400°C. The permittivity (ε') and loss tangent of permittivity (ε''/ε') of Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ ceramics increased and decreased with sintering temperature, respectively. The permeability of Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ ceramics decreased with sintering temperature. The loss tangent of permeability was not changed compared each other with sintering temperature. The bulk density of Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ ceramics sintered at 1300°C was 4.79 g/cm³. The permittivity, loss tangent of permittivity and permeability, loss tangent of permeability were 19.896, 0.1718 and 14.218, 0.2046 at 210 MHz, respectively.

/min.으로 하였다.

2.1.1 측정

소결온도에 따른 결정구조의 변화 및 고주파 형성과정을 고찰하기 위하여 X-선 회절분석을 하였다. X-선은 CuKα₁ (λ=1.542Å)을 사용하였으며, 스텝폭과 주사속도는 각각 0.1deg.와 2deg./min.으로 하였다. 시편의 소결상태를 알아보기 위하여 아르키메데스 법을 이용하여 소결밀도를 측정하였다.

소결된 시편의 유전율(ε'), 투자율(μ'), 유전손실(ε''/ε') 그리고 투자손실(μ''/μ')은 유전율과 투자율을 동시에 측정할 수 있는 동축선로법을 사용하여 측정하였다.[4] 마이크로파 특성을 확인하기 위하여 HPE5071B 네트워크 분석기를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1에 소결온도에 따른 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 세라믹스의 X-선 회절 분석결과를 나타내었다. 모든 조성에서 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 상이 주상으로 존재하였다. 1200°C ~ 1350°C의 소결온도범위에서 소결한 시편의 X-선 회절 패턴은 Trans-tech 사의 상업용 페라이트의 회절 패턴과 유사한 결과를 나타내었다. 이것으로 단일상을 형성시키기 어려운 것으로 알려져 있는 육방정 Ba 페라이트를 본 실험을 통하여 단일상으로 형성시켰음을 알 수 있다. 그러나 1150°C와 1400°C에서 소결한 시편에서는 Ba₂Co₂Fe₁₂O₂₂ 상으로 생각되어지는[5] 이차상이 존재하였다. 이는 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 상을 형성시키기에는 충분하지 않은 열에너지(1150°C) 또는 과잉소결(1400°C)에 의한 것으로 생각된다. 또한 1400°C에서 소결한 시편에서는 과잉소결로 인하여 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 상의 회절 강도가 많이 감소하였다. 1200°C ~ 1300°C의 온도범위에서 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 상의 (2θ=30.8°) 회절강도는 소결온도에 따라 증가하였으며, 1300°C에서 최대값을 나타내었다.

1. 서 론

최근 정보기술(Information Technology, IT)의 발전으로 정보의 생산과 전달, 보존을 위한 전자기기인 휴대폰 등의 사용이 증가되면서 안테나 등의 전자소자도 소형화, 고주파수화 되고 있다. 이를 위하여 스핀넬(spinel) 구조의 NiZn 페라이트가 널리 사용되고 있다. 그러나 NiZn 페라이트와 같은 스핀넬 페라이트는 Sneok의 한계에 의하여 동작 주파수가 수백 MHz 영역으로 제한되어 있다.[1] 반면 육방정(hexagonal) 구조의 Ba 페라이트는 수 GHz의 주파수대역까지 사용이 가능한 것으로 보고되고 있다.[2] 전자소자의 소형화는 대역폭의 감소를 유발시킨다. 전자소자 내부에서의 전기적 파장(λg)과 대역폭(bandwidth, BW)은 유전율(ε) 및 투자율(μ)과 관련되어 있다.[3]

$$\lambda_g \approx \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon\mu}}, \lambda : \text{자유공간에서의 파장}$$

$$BW \approx \frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{\epsilon}}, BW : \text{자유공간에서의 대역폭}$$

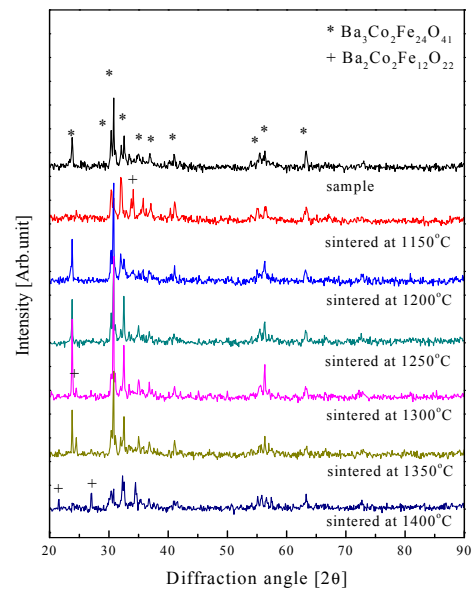
위 식에서 높은 투자율은 전자소자의 소형화와 넓은 대역폭을 위하여 필수적이다. GHz 대역에서 사용가능한 재료로서 glass 물질의 재료도 있으나 glass 물질은 1~2 정도의 낮은 투자율을 가지기 때문에 높은 투자율을 가지는 Ba 페라이트의 연구가 활발히 진행되고 있다.

이에 본 논문에서는 고주파용 소자로 응용 가능한 물질 개발을 위하여 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 세라믹스의 소결온도에 따른 구조적 특성과 마이크로파 특성을 조사하였다.

2. 실험

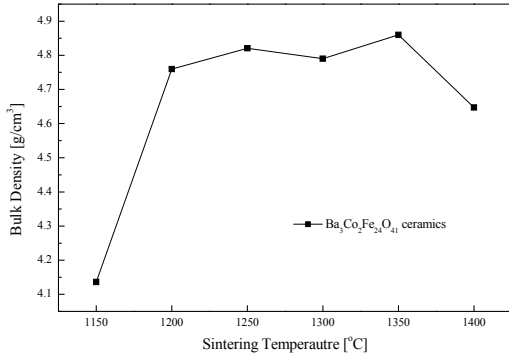
2.1 시편의 제조

본 실험에서는 일반적인 고상반응법을 사용하여 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 세라믹스를 제조하였다. 출발물질로 높은 순도로 정제된 BaCO₃, CoO, Fe₂O₃ (99.9%)를 사용하였다. BaCO₃, CoO, Fe₂O₃를 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁의 화학식량에 맞게 평량한 후, 알코올을 분산매로 사용하여 지르코니아볼로 24시간 동안 혼합·분쇄하였다. 혼합·분쇄한 분말을 100°C 전기오븐에서 충분히 건조한 후, 알루미늄도가니에 넣어 1000°C에서 3시간 동안 하소하였다. 하소한 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁분말을 도넛형 금형에 넣고 단축성형하였다. 성형한 시편을 전기로에 넣고 1150°C ~ 1400°C의 온도범위에서 3시간 동안 소결하였다. 하소 및 소결 시 전기로의 온도 상승률은 5°C



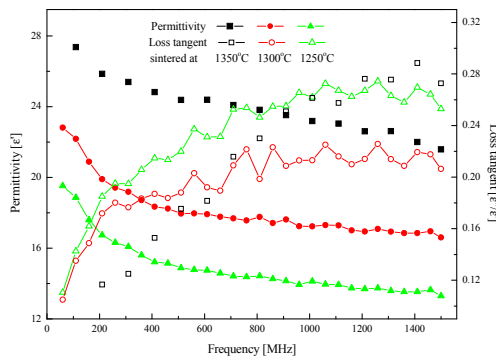
<그림 1> 소결온도에 따른 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 세라믹스의 X-선 회절 패턴

소결온도에 따른 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 세라믹스의 소결밀도를 그림 2에 나타내었다. 소결온도에 따라 밀도는 증가하였다. 이는 소결온도가 증가함에 따라 치밀화가 증진되어 기공이 감소하였기 때문으로 생각된다. 1400°C에서의 소결밀도의 감소는 X-선 회절 분석에서도 알 수 있듯이 과잉소결에 의한 것으로 생각된다. 실제적으로, 본 실험에서 1400°C의 소결온도에서 시편의 녹음을 확인할 수 있었다.



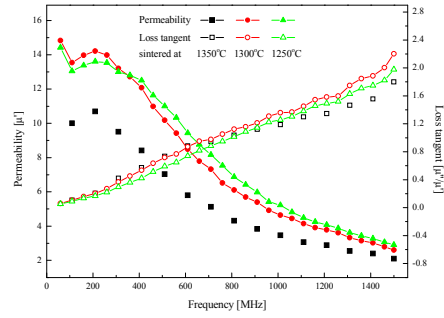
〈그림 2〉 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 세라믹스의 소결 밀도

그림 3에 소결온도와 주파수에 따른 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 세라믹스의 유전율 및 유전손실을 나타내었다. 소결온도에 따라 유전율은 증가하였다. 이는 소결온도가 증가함에 따라 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 세라믹스의 치밀화가 증진되기 때문으로 생각된다. 치밀화가 증가됨에 따라 낮은 유전율을 가지는 기공이 감소하여 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 세라믹스의 유전율이 증가하는 것으로 생각된다. 또한 유전율은 주파수가 증가함에 따라 감소하였다. 이 감소는 주파수에 비례하여 증가하는 유전분산 때문으로 생각된다. 높은 주파수 영역에서 유전율은 일정한 값을 나타내었다. 유전손실의 경우, 소결온도에 따라 유전손실은 감소하였고, 주파수에 따라 증가하였다. 이는 유전율과 반대되는 경향으로 소결온도에 따른 치밀화의 증가와 주파수에 따른 유전분산의 증가 때문으로 생각된다.



〈그림 3〉 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 세라믹스의 유전율과 유전손실

소결온도와 주파수에 따른 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 세라믹스의 투자율과 투자손실을 그림 4에 나타내었다. 일반적으로, 육방정 페라이트는 축과 면 사이에 이방성을 가지고 있어 축에 수직하는 자기 회전을 발생시켜 Sneok의 한계를 극복하여 높은 투자율을 가지는 것으로 보고되고 있다.[6] 1350°C에서 소결된 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 세라믹스의 투자율은 다른 소결온도 보다 낮은 값을 나타내었다. 이 현상은 높은 소결온도에 의한 결정립 크기의 증가로 인하여 자기 분역이 감소하였기 때문으로 생각된다. 주파수에 따른 투자율은 210 MHz 이후의 주파수 대역에서 급격히 감소하였다. 이는 투자율이 자기 공진주파수 부근에서 급감한다는 보고와 일치한다.[7] 이 결과로 본 실험에서 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 세라믹스의 자기 공진주파수는 210 MHz임을 확인할 수 있었다. 투자손실은 주파수의 증가에 따라 지속적으로 증가하였다. 이는 유전손실의 증가와 비슷한 경향으로, 주파수가 증가함에 따라 분산현상이 증가하기 때문으로 생각된다. 소결온도에 따른 투자손실은 자기 공진주파수(210 MHz) 부근에서는 소결온도에 상관없이 비슷한 값을 나타내었고, 주파수가 증가함에 따라 약간의 차이를 나타내었다.



〈그림 4〉 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 세라믹스의 투자율과 투자손실

1300°C에서 소결된 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 세라믹스의 유전율, 유전손실, 투자율 그리고 투자손실은 자기 공진주파수인 210 MHz에서 각각 19.896, 0.1718, 14.218 그리고 0.2046 이었다.

4. 결 론

본 연구에서는 소결온도에 따른 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 세라믹스의 구조적 특성과 마이크로파 특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. X-선 회절 분석 결과, 대부분의 조성에서 주상으로 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 단일상이 형성되었다. 그러나 1150°C와 1400°C의 소결온도에서는 Ba₂Co₂Fe₁₂O₂₂ 상이 이차상으로 나타났다.
2. 소결온도에 따라 소결밀도는 증가하였고 1350°C에서 최대값을 나타내었다. 1400°C의 소결온도에서는 과잉소결로 인하여 소결 밀도가 감소하였다.
3. Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 세라믹스의 유전율은 소결온도에 따라 증가하였고 주파수에 따라 감소하였다. 또한 소결온도와 주파수에 따른 유전손실은 유전율과 반대의 경향을 나타내었다.
4. Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 세라믹스의 투자율은 1300°C의 소결온도에서 최대값을 나타내었고, 자기 공진주파수(210 MHz) 이상의 주파수 대역에서 급격히 감소하였다. 투자손실은 소결온도에 따라 큰 변화 없이 일정한 값을 나타내었고, 주파수에 따라 지속적으로 증가하였다.
5. 1300°C에서 소결한 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 세라믹스의 소결밀도는 4.79 g/cm³ 이었고, 210 MHz에서의 유전율, 유전손실, 투자율과 투자손실은 각각 19.896, 0.1718, 14.218 그리고 0.2046 이었다.

본 실험을 통하여 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 세라믹스가 비교적 높은 투자율을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ 세라믹스를 전자소자에 응용하기 위하여 투자손실을 낮추는 연구와 자기 공진주파수를 고주파대역으로 이동시키는 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Tatsuya Nakamura and Ken-ichi Hatakeyama, "Complex Permeability of Polycrystalline Hexagonal Ferrites", IEEE Tran. Mag., Vol. 36, No. 5, pp.3415-3417, 2000.
- [2] T. Nakamura, Ferrite, pp.967-969, 2000.
- [3] R. C. Hansen and Mary Burke, "ANTENNAS WITH MAGNETO-ELECTRICS", Microwave Opt. Technol. Lett., Vo. 26, No. 2, pp.75-78, 2000.
- [4] L. F. Chen, C. K. Ong, C. P. Neo, V. V. Varadan and V. K. Varadan, "Microwave Electronics; Measurement and Materials Characterization", John Wiley & Sons, Ltd., pp.182-187, 2000.
- [5] M. A. Vinnik and Zh. Neorg Khim, Russ. J. Inorg. Chem.(Engl. Transl.), Vol. 10, No. 9, pp.1164-1167, 1965.
- [6] T. Nakamura and E. Hankui, "Control of high frequency permeability in polycrystalline (Ba, Co)-Z-type hexagonal ferrite", J. Magn. Mater., Vol. 257, pp.158-164, 2003.
- [7] 고재귀, 송재만, "자성물리학의 기초와 응용", 숭실대학교 출판부, pp.124-198, 1997.