

B-Bi-Zn 첨가가 hexagonal-ferrite 특성에 미치는 영향

Effect of B-Bi-Zn Addition on the Permeabilities of Hexagonal-ferrite

정승우*, 백승철**, 김성수*, 최우성*

Seung-Woo Jung*, Seung-Choel Baek**, Sung-Soo Kim*, U-Sung Choi*

Abstract

In this paper, we have studied the effect of doped with B-Bi-Zn on properties (microstructure, density, shrinkage, permeability as a function of frequency, etc.) of hexagonal-ferrite for high frequency chip-inductor material about several GHz. The permeability were analyzed by impedance analyzer(100 kHz~40 MHz) and network analyzer(30 MHz~3 GHz). As a result of the characteristics, the B-Bi-Zn glass ceramic was used to lower the sintering temperature for additive as a function of frequency from 100 kHz to 1.8 GHz showed constant trends. The maximum imaginary value of complex permeability was observed near the resonance frequency of 2 GHz.

Key Word(주요단어) : Hexagonal-Ferrite, properties, permeability

1. 서론

최근 산업사회는 전자 및 가전산업의 발전에 따라 부품의 고성능화 및 소형화, 그리고 고주파화가 요구되고 있는 실정에 있으며, 이에 부응하기 위하여 수동부품(R,L,C)의 하나인 인덕터의 소형화를 위하여 표면실장기술(SMT : Surface Mount Tech.)을 이용한 칩 인덕터의 개발이 이루어지고 있으며, 이를 위해 재료의 저온 소결제^{1),2)}에 대한 연구가 많이 진행되었다. 그러나 현재의 인덕터용 재료(Ni-Zn Ferrite, Mn-Zn Ferrite, etc.)³⁾⁻⁵⁾는 공진주파수가 수십 MHz로 한정되어 있어 보다 고주파 대역에 사용 가능한 재료의 개발이 있어야 하며, 전극과의 동시 소결을 위하여 저온소성용 첨가제의 개발이 필요하다.

이에 본 연구에서는 공진주파수가 GHz 대역에 존재하는 hexagonal-ferrite 기본조성을 확보하고, 기존과 차별되는 저온소결 첨가제로서 B-Bi-Zn

(25-15-60) 유리분말을 확보된 조성에 각 3~11 wt%를 첨가한 후 소결온도에 따른 특성을 분석하여 B-Bi-Zn 첨가에 따른 특성의 변화에 대하여 관찰하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 시편제조

출발원료는 99.9% 이상의 시약급인 BaO, NiO, CuO, α -Fe₂O₃를 사용하여 기본조성을 확보하였고 확보된 조성에 첨가제를 첨가하였다.

기본조성은 Ba_{0.2}(Ni_{0.25}Cu_{0.75})_{0.31}Fe_{0.49}O₂₂비율로 칭량한 후 지르코니아 불 3mm, 5mm를 7:3의 비율로 섞어 증류수를 불과 1:1의 비율로 하여 습식 불 밀링을 24시간 실시하여 충분히 건조시켜 분말을 얻은 후 승온속도를 3°C/min로 750°C에서 2시간동안 하소를 실시하였다. 하소 처리된 분말에 저온 소결을 위한 첨가제를 각 3~11 wt%로 2 wt%씩 변화를 주면서 첨가하였다. 이 때 첨가제는 B₂O₅, Bi₂O₃, ZnO를 99.9% 이상의 순도를 가지는 것으로 각 25 mol%, 15 mol%, 60 mol% 씩 칭량하여 앞선 방법과 동일한 방법으로 제조하여 첨가량에 따라 첨가하였다.

제조된 분말은 밀도, 흡수율, 수축율의 측정을 위하여 pellet(직경 10mm)형태의 시편과, 초투사율과 복소투사율을 측정하기 위하여 toroid 형태의 시편을

* 원광대학교 전기전자공학부
(전북 익산시 신용동 원광대학교)
Fax : 0653-853-8350
E-mail : jsw@netian.com)
** 우송공업대학 전자정보계열

1ton/cm²의 압력으로 제조하였다. 시편은 공기분위기에서 소결온도를 900~1000℃까지 50℃간격으로 하여 각각 소결을 실시하였고 공기분위기에서 실온까지 냉각시키면서 소결체를 제조하였다.

2.2 분석 및 측정

2-2-1 밀도 및 수축율 측정

표준규격(ASTM B-311-58)에 의하여 소결체의 밀도와 흡수율을 측정하여 다음 (1),(2)식을 통하여 계산하여 얻었다.

$$\text{소결밀도} = \frac{W_d}{W_m - W_s} \text{ (g/cm}^3\text{)}^7 \text{ ----- (1)}$$

$$\text{흡수율} = \frac{W_m - W_d}{W_d} \times 100(\%)^7 \text{ ----- (2)}$$

이때 W_m은 공기중에서의 무게(moisture weight), W_s는 물속에서의 현수무게(suspended weight), W_d는 건조무게(dry weight)이다.

수축율은 소결전과 소결후의 길이 및 두께를 micrometer로 정확히 측정을 하여 (3)식에 의해서 계산을 통해 얻었다

$$\text{수축율} = \frac{\text{소결전} - \text{소결후}}{\text{소결전}} \times 100(\%) \text{ ----- (3)}$$

2-2-2 미세구조

결정의 미세구조를 관찰하기 위하여 주사현미경(SEM : Oxford JSM 5410)을 이용하여 시편의 파단면을 7500배율로 관찰하였으며, 시편은 이온 쿼터를 이용하여 코팅을 20분간 실시한 후 상을 관찰하였다.

2-2-3 초 투자율 및 복소 투자율

toroid 형태의 시편에 0.5mm의 에나멜선을 균일하게 10회 감은 다음 impedance analyzer(HP4194A)를 사용하여 임피던스와 초기 인덕턴스값을 측정하여 초 투자율을 식 4~5에 의해 계산하였으며, 복소 투자율을 얻기 위해 외경 20mm 내경 12mm 몰드로 제작한 토로이드형의 시편을 100 kHz~40 MHz까지는 HP4194A를 사용하여 식 5~8을 통해 100 kHz에서의 초 투자율과 각 주파수에 변화에 따른 복소 투자율^{6),7)}의 변화를 살펴보았다. 40 MHz 이상의 주파수 대역에서는 Network analyzer를 외경 7mm, 내경 3mm인 몰드로 성형한 시편으로 6 GHz까지 S파라미터를 측정 후 수식 9~14를 이용하여 투자율을 계산하였다. 이때 수식 13)은 측정 지그와 시편의 오차에 따른 값을 보상해주는 값을 나타낸다.

$$\mu_i = L/L_0 \text{ (L : 측정된 inductance)} \text{ ----- (4)}$$

$$L_0 = \frac{0.4SN^2}{D} \times 10^{-2} \text{ ----- (5)}$$

(N : turn 수, D : 평균직경, S : 시편의 단면적)

$$Z^* = j\omega L_0(\mu' - \mu'') = R + jX \text{ ----- (6)}$$

$$\mu' = X/\omega L_0 \text{ ----- (7)}$$

$$\mu'' = R/\omega L_0 \text{ ----- (8)}$$

$$\Gamma = \frac{(T_a^4 T_b^2 + T_b^2 S_{11}^2 - T_a^2 S_{21}^2)}{2T_a^2 T_b^2 S_{11}} \pm \frac{\sqrt{(T_a^4 T_b^2 + T_b^2 S_{11}^2 - T_a^2 S_{21}^2)^2 - 4T_a^4 T_b^2 S_{11}^2}}{2T_a^2 T_b^2 S_{11}} \text{ -- (9)}$$

$$T = \frac{T_b S_{11} + T_a S_{21} - T_a^2 T_b \Gamma}{T_a^2 T_b - (T_b S_{11} + T_a S_{21}) \Gamma} \text{ ----- (10)}$$

$$Z_f = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma} Z_0 \text{ (} Z_0 = 50 \Omega \text{)} \text{ ----- (11)}$$

$$r_f = \frac{1}{l_f} \ln \frac{1}{T} \text{ (} l_f = \text{sample thickness)} \text{ --- (12)}$$

$$\xi = \ln \left(\frac{bd}{aD} \right) / \ln \left(\frac{b}{a} \right) \text{ ----- (13)}$$

$$\mu_r = \left[\frac{2\pi r_f Z_f}{j\omega \mu_0} - \xi \ln \left(\frac{b}{a} \right) \right] \frac{1}{(1 - \xi) \ln \left(\frac{b}{a} \right)} \text{ -- (14)}$$

3. 결과 및 고찰

3-1 소결체 특성 분석

3-1-1 실험 조성

본 실험에서 제조한 조성을 다음 표1과 같이 명명하였다.

Table 1. Notation of experimental samples.

Ba _{0.2} (Ni _{0.25} , Cu _{0.75}) _{0.31} Fe _{0.49} O ₂₂ + B-Bi-Zn(25-15-60)				
3 wt%	5 wt%	7 wt%	9 wt%	11 wt%
a1	a2	a3	a4	a5

3-1-2 밀도 및 수축률

hexagonal-ferrite 첨가제의 변화 및 소결 온도의 변화에 따른 밀도와 흡수율은 Fig. 2.에 나타내었으며, 수축율을 Fig. 3.에 나타내었다.

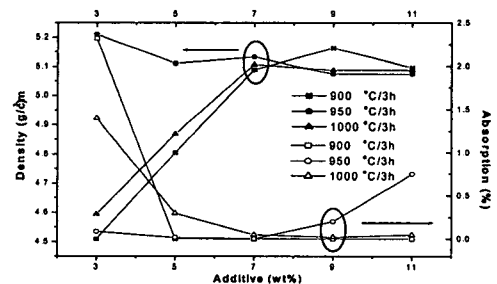


Fig. 2. Density and absorption of hexagonal-ferrite doped with B-Bi-Zn.

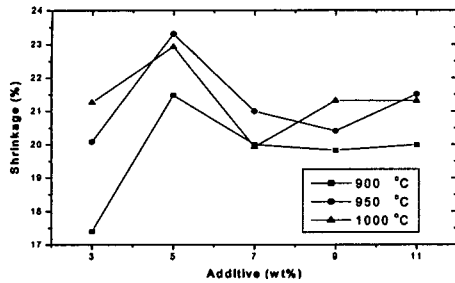


Fig. 3. Shrinkage rates of hexagonal-ferrite doped with B-Bi-Zn.

그림에서 보는바와 같이 950 °C에서 소결이 이루어지고 있으며, 첨가량이 5 wt% (a2) 조성 이후 밀도와 수축율의 변화는 거의 없음을 알 수 있고, 이것으로써 B-Bi-Zn의 첨가를 통하여 1100 °C의 소결 온도를 가지는 hexagonal-ferrite의 소결온도를 950 °C이하로 200 °C 가량 낮출 수 있다는 것을 확인 할 수 있었다.

3-1-3 미세구조

Fig 4.는 a2로 명명한 시편의 파단면을 SEM으로 7,500배의 배율로써 관찰한 것이다.

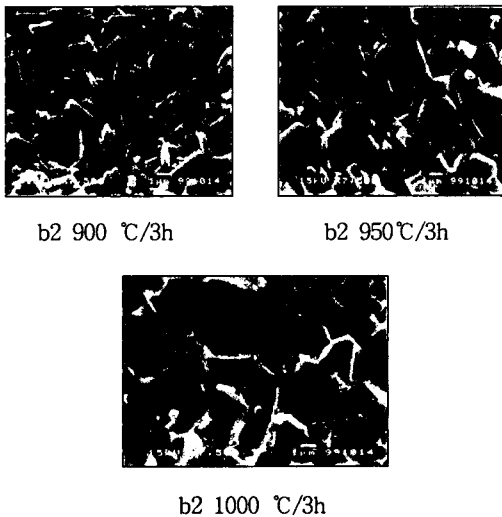


Fig. 4. SEM images of hexagonal-ferrite doped with B-Bi-Zn

첨가량이 5 wt%인 a2의 조성에서 900 °C로 소결했을 때 입성장이 시작되고 있으며, 소결 온도가 올라갈수록 입자의 크기가 커지고 있고, 기공이 적어지고 있음을 알 수 있었다. 미세구조와 밀도 및 수축율의 결과와 비교하면 밀도가 높고 수축율이 큰 조성과 소결 온도에서 결정화가 이루어지고 기공이 없

어짐을 알 수 있다. 저온 소결을 위한 B-Bi-Zn를 첨가했을 때 첨가하지 않은 경우보다 저온에서 결정화가 이루어지고 있으며, 그 온도는 950 °C 이하이고, 그 형태는 육각형의 전형적인 형태를 띄고 있었다. 이러한 결과를 통하여 hexagonal-ferrite가 칩 인덕터용 재료로 사용 시 높은 소결 온도로 귀금속 전극 사용해야하는 문제점을 온 전극을 사용할 수 있도록 충분히 낮은 온도에서 소결이 가능하게 하는 B-Bi-Zn는 hexagonal-ferrite의 저온 소결을 위한 유망한 첨가제임을 확인 할 수 있었다.

3-2 자기적 특성변화

3-2-1 초투자율

Fig. 5.는 온도에 따른 초투자율의 변화를 보여주는 것으로, 100 kHz에서 측정된 L_s (inductance)와 측정된 시편의 외경과 내경, 두께 측정 후 앞서 설명한 수식을 이용하여 초투자율 값을 얻었다.

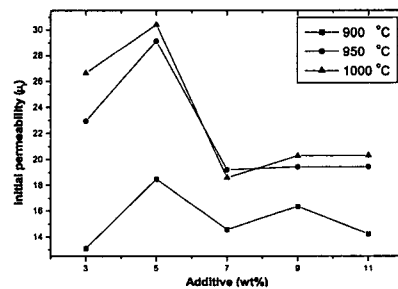


Fig. 5. The initial permeability of hexagonal-ferrite doped with B-Bi-Zn.

Fig. 5. 에서 보면 B-Bi-Zn (25-15-60)가 5 wt% 첨가된 b2에서 가장 높은 값을 보이며 7 wt% 이상 첨가한 경우 초투자율 값은 비슷한 값을 보인다.

3-2-2 복소투자율

앞 장에서 설명한 바와 같이 impedance analyzer를 이용하여 측정된 시편의 조성에 따른 복소 임피던스 스펙트럼의 data를 이용하여 100 kHz~40 MHz 대역까지 주파수의 변화에 따른 복소 투자율을 Fig. 7.에 보여주고 있다.

Fig. 7.을 보면 40 MHz 대역까지 실수항은 주파수에 따라 거의 일정한 투자율 값을 보여주고 있으며, 소결 온도가 높은 조성에서 그 값이 크게 보여지고 있으며, 공명현상은 나타나지 않았다. 또한, 손실을 나타내는 허수항은 저주파 대역에서는 큰 값을 보여주고 있으나, 주파수가 증가함에 따라 그 값이 현저히 줄어들어 일정 주파수 이후에서 값이 일정하게 보여지고 있음을 알 수 있다. 이로써 40 MHz 대역까지는 투자율이 유지되고, 급격한 손실이나 크기의

변화가 없으며, 공진주파수가 나타나 있지 않고 있음을 알 수 있었으며, a2의 조성에서 초투자율 값과 마찬가지로 높게 나타나고 있는 것을 확인 할 수 있었으며, 이 때 투자율 실수항 값은 950 °C에서 소결시켰을 때 20정도의 값을 가지고 있다.

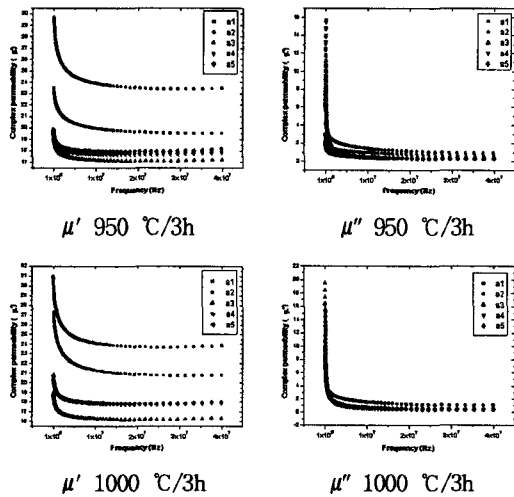


Fig. 7. The permeability spectrums of hexagonal ferrite doped with B-Bi-Zn as a function of frequency. (100 kHz~40 MHz)

30 MHz~3 GHz 대역까지 network analyzer를 이용하여 측정 한 후 S-파라미터를 이용하여 주파수 변화에 따른 복소 투자율 크기의 변화에 따른 분산 스펙트럼을 Fig. 8에 보여주고 있다.

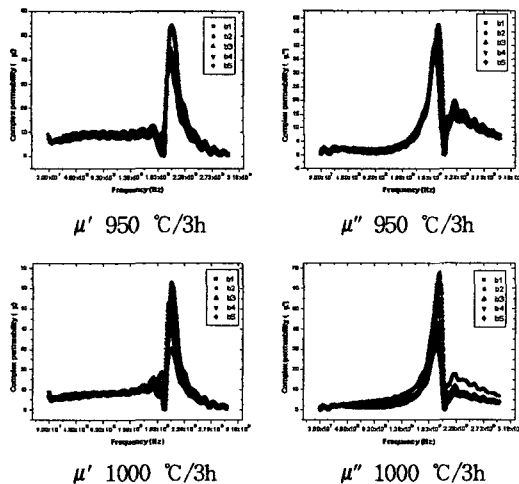


Fig. 10. The permeability spectrums of hexagonal ferrite doped with B-Bi-Zn as a function of frequency. (30 MHz~3 GHz)

그림에서 보면 공진주파수가 대략 2 GHz 대역에서 보임을 알 수 있고, 40 MHz까지의 복소 투자율의 실수항 값과 30 MHz에서부터의 값이 20정도로 비슷하게 유지되고 있는 것으로 보아 복소 임피던스와 S 파라미터를 이용한 투자율의 해석은 정확하며, 각 분산 스펙트럼에 의하면 소결 온도가 높아짐에 따른 투자율의 변화는 관찰할 수 없고, 첨가제 양이 증가함에 따라 μ 의 최대값이 감소하고 있는 것을 알 수 있었다.

4.결 론

$Ba_{0.2}(Ni_{0.25},Cu_{x.75})_{0.31}Fe_{0.49}O_{22}$ 의 조성 에 B-Bi-Zn 첨가제 양에 따른 특성의 변화를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) B-Bi-Zn를 첨가함에 따라 소결 온도가 950 °C 이하로 감소하였다.
- (2) 초투자율의 값은 5 wt% 첨가시 높게 나타났으며, 첨가제의 의해 초투자율 값이 첨가하지 않았을 때보다 다소 높아지는 경향을 보였다.
- (3) 100 kHz~40 MHz 대역에서 측정 한 복소투자율은 5 wt% 첨가시 높은 투자율을 보였으며 수십 MHz대역에서는 투자율의 변화가 없었다.
- (4) 공진주파수는 2 GHz 대역에서 보이고 있다. 이상과 같은 결과로서 본 연구에 사용된 재료는 저온소결이 가능한 GHz 대역 인덕터 소재로 활용 가능한 것으로 판단된다.

참고 문헌

- (1) L. H. Ho, and C. H Lee, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 38, pp. 3508~3512 (1999)
- (2) T. Y. Hsu, W. S Ko, and C. J. Chen, IEEE Trans. Mag., Vol. 31, No. 6, 3994~3996 (1995)
- (3) Alex Goldman, "Modern Ferrite Technology", Van Nostrand, 145-185, 225-256 (1990)
- (4) H. Monoi, A. Nakano, T. Suzuki, T. Nomura, Ferrites : Proceeding of the 6th International Conference of Ferrites(ICF6), 1202 (1992).
- (5) 류병환, 김선희, 최경수, 고재천, 한국자기학회지, 6(6), 937(1995).
- (6) "Measuring the dielectric constant of solids with the network analyzer", HP product note 8510-3
- (7) A. Z. Samir, A. Fujiwara "Measurement and Verification of complex permeability of ferrite material by S-parameter techniques", T. IEE Japan, Vol. 199-c, No. 1, 9-14(1998)