

고주파 Chip-Inductor용 NCZF 전자기적 특성

Electric and Magnetic Properties of NCZF for High Frequency Chip-Inductor

정승우*, 김태원*, 김성수*, 백승철**, 최우성*,
* 원광대학교 전기전자공학부
** 우송공업대학 전자정보계열

Seung-Woo Jung*, Tae-Won Kim*, Sung-Soo Kim*, Seung-Choel Baek**, U-Sung Choi*
* Dept. of Electronic Materials Engineering, Wonkwang Univ.
** Division of Electronic and Information, Woosong Technical College

Abstract

We have studied properties(crystal structure, density, absorption, contraction, initial permeability, and permeability) of $Ni_{0.175-x}Cu_xZn_{0.33}Fe_{0.495}$ ($x=0\sim 0.175$) ferrites with various NiO and CuO, because of development of materials for high frequency inductor. The XRD peaks of all of samples were observed only spinel phase. As a results of the density, absorption rate, and shrinkage rate, the grain growth progressed rapidly in $x=0.1$ at $950^{\circ}C$, $x=0.075$ at $1050^{\circ}C$, and $x=0.025$ at $1150^{\circ}C$ for 3hours. Initial permeability increased with increasing CuO concentration until $x=0.1$, and then decreased. The complex permeability as a function of frequency were high values at sintered $1050^{\circ}C$ for 3 hours in $x=0.075, 0.1$.

Key Word(주요단어) : Ferrite, NCZF, Magnetic property, Permeability

1. 서 론

산화물 자성재료인 ferrite는 산화철을 기본으로 하는 화합물로서 자발자성 특성을 나타내는 세라믹의 총칭을 말한다.

오늘날 가전 및 전자부품 산업이 발전함에 따라 각종 회로 및 부품을 이루는 수동부품(L,C,R)의 소형화와 고성능화에 부응하기 위하여 표면실장기술(SMT:Surface Mount Technology)¹⁾이 발전하게 되었다. 인덕터를 표면실장소자(SMD:Surface Mount Device)화한 칩인덕터는 손실이 적고, 부품간의 상호간섭이 적으며, 높은 인덕턴스와 신뢰성을 가지고 있다.

인덕터의 내부전극으로는 일반적으로 Ag paste가 사용되는데 이는 다른 전극 재료에 비하여 값이 저렴하고 전기비저항이 낮아 높은 Q를 갖는 특성 때문이다.^{2),3)} 인덕터의 소재로는 비교적 높은 전기비저항을 갖는 Ni-Zn계 ferrite가 사용되고 있다. 일반적으로 Ni-Zn 페라이트는 $1100^{\circ}C$ 이상에서 소결해야 하고 소결온도를 낮추고자 CuO 성분을 첨가한 앞선 연구자들은^{4) 6)} 주로 저온소결형 ferrite의 개

발과 소결 및 자기 현상에만 대하여 주로 연구하였기 때문에 Chip-Inductor 개발에 응용할 수 있는 연구 결과는 미흡한 실정에 있다.

본 연구에서는 Ni-Cu-Zn ferrite의 조성중에서 Zn와 산화제2철의 조성을 결정한 상태에서 NiO와 CuO의 함량 변화를 주고 소결온도에 따른 투자율 등의 변화를 고찰하여 인덕터에 응용가능한 소재를 선정하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 시편제조

본 연구에서 출발원료는 NiO, CuO, ZnO, Fe_2O_3 를 사용하였다. 실험의 공정도는 Fig.1.과 같다.

$Ni_{0.175-x}Cu_xZn_{0.33}Fe_{0.495}$ ($x = 0\sim 0.175$) x의 변화는 0.025의 조성의 비율로 칭량한 후 Zirconia Ball(직경3mm, 5mm)을 사용하여 증류수와 같이 습식 볼 밀링을 24시간 실시한 후 $750^{\circ}C$ 에서 2시간 하소를 실시하였다. 하소처리된 분말에 Binder로써 5%의 PVA를 10wt%첨가한 후, 140mesh를 이용하여 미세분말을 얻었다. 제조된 분말은 Press를 이용하여

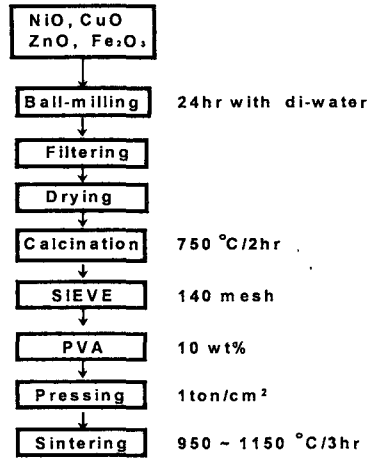


Fig. 1. Fabricating procedure of samples.

수축률과 겉보기밀도의 측정을 위한 Pallet(직경 10mm)형태의 시편과, 초투자율과 투자율을 측정하기 위하여 toroid 형태의 시편을 1ton/cm²의 압력으로 제조하였다. 공기분위기에서 950°C~1150°C까지 100°C 변화를 주어 분당 3°C의 승온속도로 binder를 burn-out시키기 위하여 400°C에서 2시간 delay time을 주었고 다시 소결온도까지 분당 3°C의 승온속도로 소결온도에서 3시간 소결을 실시하고 공기분위기에서 냉각시키면서 소결체를 제조하였다.

2.2 분석 및 측정

2-2-1 밀도 측정

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

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

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

여기서 공기중에서의 무게(moisture weight : W_m), 물속에서의 현수무게(suspended weight : W_m), 건조무게(dry weight : W_d)이다.

2-2-2 수축율 측정

수축율은 소결전과 소결후의 길이 및 두께를 micrometer로 정확히 잰 후 다음 (3)식에 의해서 계산하였다.

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

2-2-3 x선 회절 분석

D-Max X선회절 분석기(RIKAKU, D-MAXⅢA)를 이용하여 30Kv, 20mA의 조건에서 5°/min의 Scan speed로 20°에서 80°의 2θ 구간을 측정하였다.

2-2-4 미세구조

미세구조를 관찰하기 위하여 주사현미경 (SEM : Oxford JSM 6400)을 이용하여 부식면을 관찰하였으며, 이때 부식을 화학부식(Chemical etching)으로 연마된 시편을 5% 수산화나트륨 용액에 20분간 넣은 후 꺼내어 부식 시편을 제조하였다.

2-2-5 초 투자율 및 복소투자율

Toroid 형태의 시편에 0.5mm의 에나멜선을 균일하게 10회 감은 다음 HP4194A를 사용하여 Impedance와 초기 Inductance 값을 측정하였다. 측정된 모든 시편은 100KHz~40MHz까지 측정하여 초투자율과 주파수에 따른 복소투자율⁸⁾의 변화를 살펴보았다.

$$\mu_i = L/L_0 \quad (4)$$

(L : 측정된 inductance)

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

(N : turn 수, D : 평균직경, S : 시편의 단면적)

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

$$\mu' = X/\omega L_0 \quad (7)$$

$$\mu'' = R/\omega L_0 \quad (8)$$

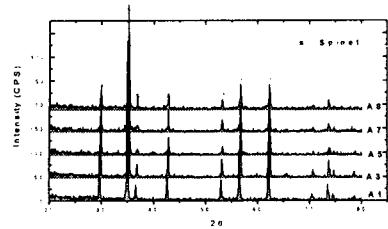
3. 결과 및 고찰

3-1 소결체 특성 분석

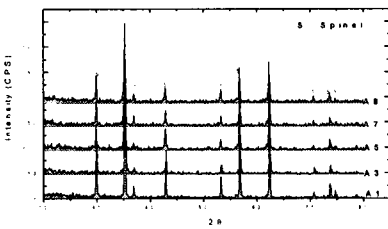
3-1-1 온도에 따른 특성 분석

본 실험에서 실시한 조성은 Ni_{0.175x}Cu_xZn_{0.33}Fe_{0.495}로 A1(x=0), A2(x=0.025), A3(x=0.05), A4(x=0.075), A5(x=0.1), A6(x=0.125), A7(x=0.15), A8(x=0.175)의 변화에 따라 시편을 명명하였다.

각 조성에서 소결온도에 따라 혼합물내에서 생성되는 결정상의 결과를 Fig. 2.에서 보여주고 있다. 모든 조성과 각 소결온도에서 스피넬 상만이 관찰되었다.



(a)



(b)

Fig. 2. XRD pattern of $Ni_{0.175x}Cu_xZn_{0.33}Fe_{0.495}$ at the sintering temp. (a) 950°C/3h, (b)1050°C/3h

따라서, 소결온도가 950°C 이상에서는 전자기 특성에 대한 스피넬화의 영향은 없다고 판단할 수 있다.

3-1-2 밀도 및 수축률

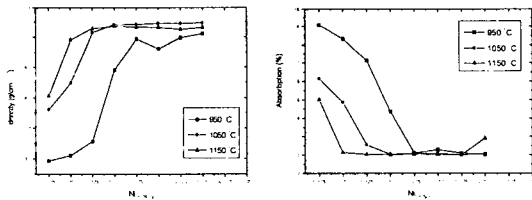


Fig. 3. Density and Absorption of $Ni_{0.175x}Cu_xZn_{0.33}Fe_{0.495}$ ferrites with various composition.

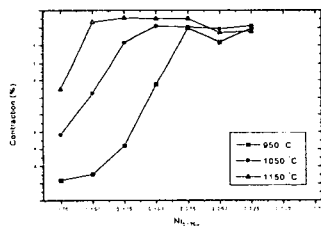


Fig. 4. Contraction of $Ni_{0.175x}Cu_xZn_{0.33}Fe_{0.495}$ ferrites with various composition.

Fig. 3-4는 시편에 대한 밀도 및 흡수율과 수축율을 나타낸 것이다. 950°C로 소결한 경우 $x=0.075$ 이상에서부터 밀도와 흡수율의 변화가 극히 작고, 온도의 변화에 따라 온도가 높을수록 CuO의 양이 적은곳에서 밀도가 대략 5.0으로 일정한 값을 보여

주었다. 흡수율 역시 온도가 온도가 높은곳에서부터 CuO의 양이 적어도 흡수율이 0에 가까운 경향을 보였다. 이러한 경향은 수축률에서도 찾아볼 수 있다. CuO의 양과 소결온도의 관계를 살펴보면, CuO의 첨가량이 적으면 소결온도가 높아지고, 많으면 소결온도가 낮아진다는 것을 알 수 있다. 이는 CuO가 용제역할을 함으로써 소결 구동력이 증가된다는 앞선 연구자들의 연구결과^{4) 6)}와 일치한다.

3-1-3 미세구조

Fig. 5은 시편 표면의 SEM 사진이다. (a)~(e)은 7,500배, (f)는 1,500배로 본 것으로 사진 위쪽의 line의 길이는 2μm이다.

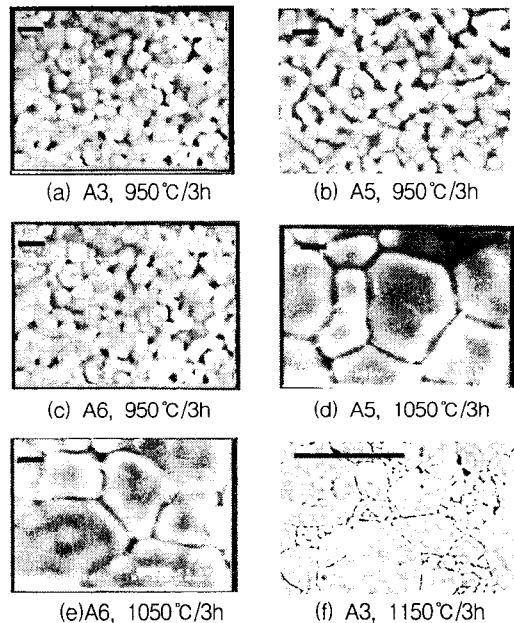


Fig. 5. SEM images of $Ni_{0.175x}Cu_xZn_{0.33}Fe_{0.495}$ ferrites.

950°C에서 3시간 소결한 경우 비록 그 결정구조가 스피넬상을 가지고는 있으나 x 가 0.~0.075로 변화할 때까지 성장이 거의 일어나지 않고, 미세기공이 많으며, 그 grain size 역시 수 μm로 작은 것을 볼 수 있다. 그러나, $x=0.1$ 이상에서는 미세기공이 급격히 줄어들었으며, grain size 역시 커지고 있다. 소결온도가 올라갈수록 기공은 거의 살펴볼 수 없으며 grain의 크기가 커지고 있다. 그러나 1150°C 이상에서 소결한 시편의 경우 $x=0.075$ 이하에서 소결이 이루어지고 그에 따른 기공의 감소와 size의 증가는 있으나, 그 이상의 조성에서는 grain size 및 boundary를 살펴볼 수 없었다.

3-2 자기적 특성변화

3-2-1 초투자율

Fig. 6.은 온도에 따른 초투자율의 변화이다.

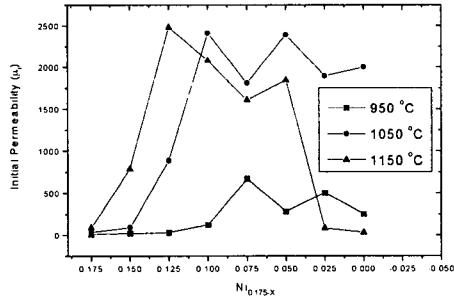


Fig. 6. Variation of initial permeability of $Ni_{0.175}xCu_xZn_{0.33}Fe_{0.495}$ ferrites.

초투자율의 경향을 살펴보면 그 값이 A4조성까지는 증가하다 그 이상에서는 다시 감소함을 알 수 있다, 또한 1150°C에서 소결한 A3 조성과 1050°C에서 소결한 A4 조성에서 높은 초투자율값을 보여주고 있다

3-2-2 복소투자율

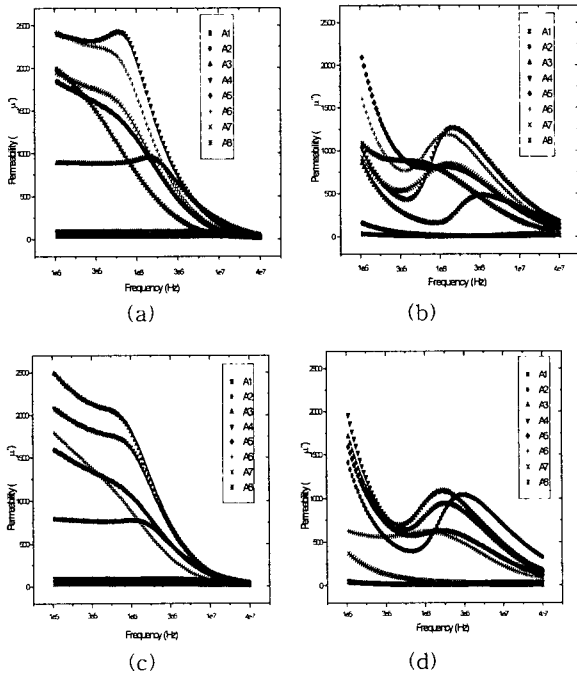


Fig. 7. Permeability spectrums as a function of frequency.

(a) μ' 1050°C/3h (b) μ'' 1050°C/3h
(c) μ' 1150°C/3h (d) μ'' 1150°C/3h

2절에서 말한 조성의 변화에 따른 복소투자율의 변화를 100KHz~40MHz 주파수범위에서 측정하였다. 소결온도에 따른 μ' , μ'' 을 Fig. 7. 에 보였다.

복소투자율 값을 살펴보면, 두 온도구간에서 A3 조성과 A4 조성이 크게 나왔으며 주파수가 증가함에 따라 그 값이 감소하는 경향을 보여주고 있다.

4.결 론

Ni-Cu-Zn ferrite의 조성중에서 Zn와 산화제2철의 조성을 결정한 상태에서 NiO와 CuO의 함량 변화를 주고 소결온도에 따른 투자율 등의 변화에 대하여 살펴보고 인덕터에 응용가능한 소재를 선정하고자 연구를 수행하였다.

- (1) 950°C 이상에서 소결을 실시한 것의 결정구조는 모두 스피넬상을 형성하였다.
- (2) 100KHz에서 측정된 초투자율의 값은 소결온도에 따라 $x=0.1$ 까지는 증가하다 감소하는 경향을 나타내었다.
- (3) 100KHz~40MHz 대역에서 측정된 복소투자율은 $x=0.075, 0.1$ 인 조성에서 가장 높은 투자율의 값을 보여주었다.

이상과 같은 결과로부터 Inductor의 응용소재로 $x=0.075, 0.1$ 인 $Ni_{0.175}xCu_xZn_{0.33}Fe_{0.495}$ 가 적절하다고 판단되어진다.

5. 참고문헌

- (1) Alex Goldman, "Modern Ferrite Technology", Van Nostrand, 145-185, 225-256.(1990)
- (2) T. Nomura and A. Nakano. Ferrites:Proceeding of the 6th International Conference on Ferrites, (ICF6). 1198(1992).
- (3) H. Monoi, A. Nakano, T. Suzuki, T. Nomura, Ferrites:Proceeding of the 6th International Conference of Ferrites(ICF6), 1202(1992).
- (4) J. H. Nam, H. H. Jung, J. Y. Shin and J. H. Oh, proceeding of The 3rd International Symposium on Physics of Magnetic Materials. 436(1995).
- (5) 류병환, 김선희, 최경수, 고재천 한국자기학회지. 6(6), 937(1995).
- (6) 남중희, 정현학, 신재영, 오재희. 한국자기학회지. 5(3), 191(1995).
- (7) 김경용, 이종규, 김왕섭, 강선모, "소형화 적층 칩 인덕터(Chip Filter)개발에 관한 연구"보고서. 99(1191)
- (8) 이종협, "Co-Zn 복합 Y-형 육방정 페라이트의 자기적 특성", 석사학위논문, 포항공대, 22(1994)