

## 2GHz 대역 Chip-Inductor용 자성재료의 자기적 특성

### The magnetic properties of ferrite for chip-inductor about 2GHz

정승우\*, 김태원, 최우성  
원광대학교 전기전자공학부

Seung-Woo Jung\*, Tae-Won Kim, U-Sung Choi  
Dept. of electric and electronic Engineering, Wonkwang Univ.

#### Abstract

We have studied properties (crystal structure, density, absorption, contraction, initial permeability, and permeability) of  $Ba_{0.2}Me_{0.31}Fe_{0.49}$  (Me :  $Ni_{1-x}, Cu_x$   $x=0\sim 1$ ) ferrites with various Me site, because of development of magnetic materials for inductor. As a results of the density, absorption rate, and shrinkage rate, the sintering temperature of  $Ba_{0.2}Me_{0.31}Fe_{0.49}$  (Me :  $Ni_{1-x}, Cu_x$   $x=0.25, 0.75$ ) had got over  $1100^\circ C$  for 3 hours. According to SEM images, the configurations of grain were hexagonal. Increasing the sintering temperature, initial permeability increased. The complex permeabilities as a function of for several MHz showed constants

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

#### 1. 서 론

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

최근 가전 및 전자부품 산업이 발전함에 따라 각종 회로 및 부품을 구성하는 수동부품(L,C,R)의 소형화, 고성능화, 그리고 고주파수화가 요구되고 이에 부응하기 위하여 표면실장기술 (SMT:Surface Mount Technology)<sup>1)</sup>이 발전하게 되었다. 인덕터를 표면실장소자(SMD:Surface Mount Device)화한 칩인덕터는 손실이 적고, 부품간의 상호간섭이 적으며, 높은 인덕턴스와 신뢰성을 가지고 있는 장점을 지니고 있다.

칩인덕터의 소재로는 비교적 높은 전기 비저항을 갖는 Ni-Zn계 ferrite가 사용되고 있다. 일반적으로 Ni-Zn 페라이트는  $1100^\circ C$  이상에서 소결해야 하고 소결온도를 낮추고자 CuO 성분을 첨가하여<sup>2)-5)</sup> 저온소결형 ferrite가 연구 개발되어왔다. 그러나 NCZF는 수십MHz대역에서 투자율이 급격히 감소되고 그 사용 주파수가 100MHz 이하로 고주파화에

따른 GHz대역 인덕터 재료로 사용하기에 부적합하고 현재까지 GHz 대역에 사용 가능한 자성 재료의 개발 및 연구는 미흡한 실정에 있다.

이에 본 연구에서는  $Ba_{0.2}Me_{0.31}Fe_{0.49}$ 조성에 Me site를 Ni, Cu로 변화를 주면서 소결 온도에 따른 특성을 분석하여 수 GHz 대역의 인덕터에 응용 가능한 소재를 선정하고자 하였다.

#### 2. 실험방법

##### 2.1 시편제조

출발원료는 99.9% 이상의 시약급인 BaO, NiO, CuO,  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 사용하였고 실험의 공정은 Fig.1. 과 같다.

$Ba_{0.2}Me_{0.31}Fe_{0.49}$  (Me :  $Ni_{1-x}, Cu_x$  ;  $x = 0\sim 1$ ) x의 변화는 0.025의 조성의 비율로 칭량한 후 Zirconia Ball 3mm, 5mm를 7:3의 비율로 섞어 증류수를 불과 1:1로 넣은 후 습식 볼밀링을 24시간 실시하였다. 볼 밀링된 슬러리를 Dry oven을 이용하여 충분히 건조시켜 분말을 얻은 후 승온속도를  $3^\circ C/min$ 로  $750^\circ C$ 에서 2시간동안 하소를 실시하였다. 하소처리

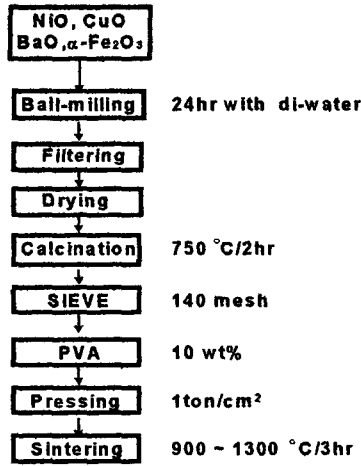


Fig. 1. Fabricating procedure of samples.

된 분말을 140mesh를 이용하여 미세분말을 얻은 후 PVA를 10wt% 첨가하였다. 제조된 분말은 Press를 이용하여 수축률과 겉보기밀도의 측정을 위하여 Pallet(직경 10mm)형태의 시편과, 초투자율과 투자율을 측정하기 위하여 toroid 형태의 시편을 1ton/cm<sup>2</sup>의 압력으로 제조하였다. 시편은 공기분위기에서 900°C~1300°C까지 100°C 각각 소결을 실시하였다. 이때 binder를 burn-out시키기 위하여 4°C/min의 승온속도로 400°C까지 승온시킨 후 delay time을 2시간 주었고 다시 소결온도까지 분당 3°C의 승온속도로 소결온도에서 3시간 소결을 실시하였고 공기분위기에서 실온까지 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.

$$\text{소결밀도} = \frac{W_d}{W_m - W_s} \quad (\text{g/cm}^3)^{(6)} \quad (1)$$

$$\text{흡수율} = \frac{W_m - W_d}{W_d} \times 100(\%)^{(6)} \quad (2)$$

$W_m$  은 공기중에서의 무게(moisture weight),  $W_m$ 은 물속에서의 현수무게(suspended weight),  $W_d$ 는 건조무게(dry weight)이다.

### 2-2-2 수축률 측정

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

$$\text{수축율} = \frac{\text{소결전} - \text{소결후}}{\text{소결전}} \times 100(\%)^{(6)} \quad (3)$$

### 2-2-3 미세구조

결정의 미세구조를 관찰하기 위하여 주사현미경(SEM : Oxford JSM 6400)을 이용하여 시편의 표면을 관찰하였다. 이때 표면을 보다 선명히 볼 수 있도록 시편에 화학부식(Chemical etching)을 실시하였다.

### 2-2-4 초 투자율 및 복소투자율

Toroid 형태의 시편에 0.5mm의 에나멜선을 균일하게 10회 감은 다음 HP4194A를 사용하여 Impedance와 초기 Inductance 값을 측정하였고 모든 시편은 100KHz~40MHz까지는 HP4194A Impedance analyzer를 이용하여 외경 20mm 내경 12mm의 몰드를 이용하여 press한 toroid type을 측정하여 식 4)~8)을 통해 100KHz에서의 초투자율과 주파수에 변화에 따른 복소투자율<sup>(7,8)</sup>의 변화를 살펴 보았다. 그 이상의 주파수대역에서는 Network analyzer를 외경 7mm, 내경 3mm인 몰드로 press한 시편을 6GHz까지 S-parameter를 측정하여 수식 9)~12)을 이용하여 투자율을 계산하였다..

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

( L : 측정된 inductance)

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

(N : turn 수, D : 평균직경, S : 시편의 단면적)

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

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

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

$$S_{11}(\omega) = \frac{(1 - \Gamma^2)\Gamma}{1 - \Gamma^2\Gamma^2} \quad (9)$$

$$S_{21}(\omega) = \frac{(1 - \Gamma^2)T}{1 - \Gamma^2\Gamma^2} \quad (10)$$

$$\Gamma = \frac{\sqrt{\mu_r} - \sqrt{\epsilon_r}}{\sqrt{\mu_r} + \sqrt{\epsilon_r}} \quad (10)$$

$$T = \exp\left[-j\left(\frac{\epsilon}{c}\right)\sqrt{\mu_r \epsilon_r}\right] \text{----- (11)}$$

### 3. 결과 및 고찰

#### 3-1 소결체 특성 분석

##### 3-1-1 실험 조성

본 실험에서 제조한 조성을 다음 표1과 같이 명명하였다.

	Ba <sub>0.2</sub> (Ni <sub>1-x</sub> Cu <sub>x</sub> ) <sub>0.31</sub> Fe <sub>0.49</sub>				
	x=0	x=0.25	x=0.5	x=0.75	x=1
900℃	a1	a2	a3	a4	a5
1000℃	a6	a7	a8	a9	a10
1100℃	a11	a12	a13	a14	a15
1200℃	a16	a17	a18		
1300℃	a19				

Table.1. Nomenclature of experimental samples.

이 때 좌측의 온도는 소결온도를 나타내며 상단은 조성의 변화량이다.

##### 3-1-2 밀도 및 수축률

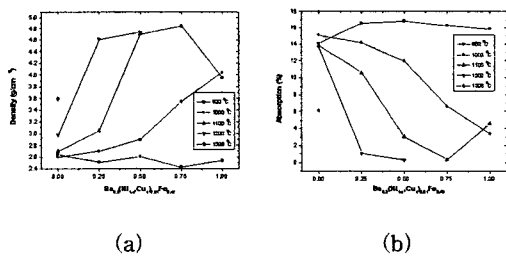


Fig. 1. Density and Absorption of Ba<sub>0.2</sub>Me<sub>0.31</sub>Fe<sub>0.49</sub> (Me : Ni<sub>1-x</sub>, Cu<sub>x</sub> : x = 0~1) (a)Density, (b)Absorption

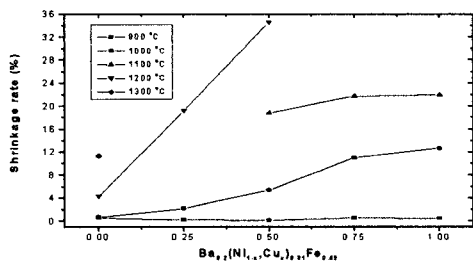


Fig. 2. Shrinkage rates of Ba<sub>0.2</sub>Me<sub>0.31</sub>Fe<sub>0.49</sub> (Me : Ni<sub>1-x</sub>, Cu<sub>x</sub> : x = 0~1)

Fig. 1~2는 시편의 온도와 조성에 따른 밀도 및 흡수율과 수축율을 보여주는 것으로 900℃에서 소결한 시편은 조성에 따른 밀도의 변화가 작으며 그

값이 약 2.6g/cm<sup>3</sup>로 작았다. 그러나 소결온도가 증가할수록 Cu의 양이 많은 쪽의 조성이 밀도가 커짐을 알 수 있었고 밀도가 가장 높은값은 1100℃에서 소결한 a14의 조성으로 약 4.8g/cm<sup>3</sup>으로 이론밀도와 비슷한 값을 보여 주었다. 흡수율은 밀도와는 반대의 경향을 보여 주는데 최고 18%의 흡수율 값을 가졌으며, 900℃에서 소결한 조성 대부분이 흡수율이 높게 나타났다. 수축율은 a18의 시편이 가장 높게 나타났으며, 이러한 결과로 미루어 보았을 때 Ni, Cu의 첨가비율이 1:1, 1:3일 때 소결온도는 1100℃ 이상임을 알 수 있었다.

##### 3-1-3 미세구조

Fig 3은 시편의 파단면을 찍은 SEM 사진으로 7,500배의 배율로 본 것이다.

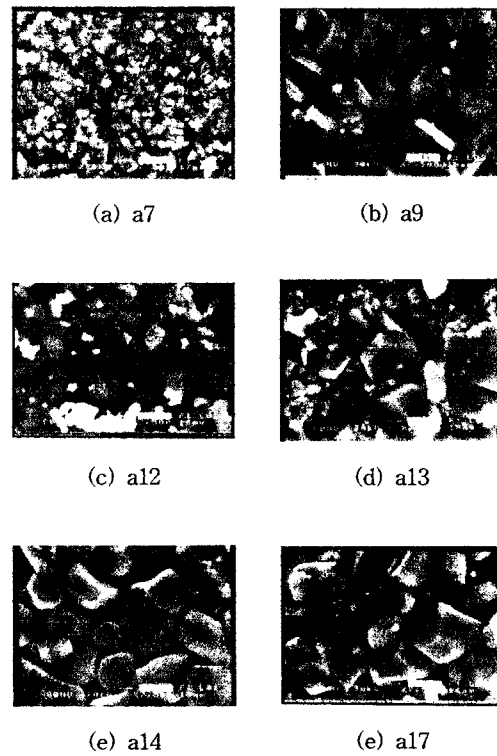


Fig. 3. SEM Images of Ba<sub>0.2</sub>Me<sub>0.31</sub>Fe<sub>0.49</sub> (Me : Ni<sub>1-x</sub>, Cu<sub>x</sub> : x = 0~1)

Grain을 살펴보면 a8조성까지 성장이 거의 없으며 미세기공을 많이 관찰 할 수 있었으나, a9 조성부터 성장이 이루어지고 있음을 알 수 있었다. 1000℃이상의 소결온도에서 grain 성장이 있었으며, 육각형의 전형적인 형태를 띄고 있다.

### 3-2 자기적 특성변화

#### 3-2-1 초투자율

Fig. 4는 온도에 따른 초투자율의 변화를 보여주는 것이다.

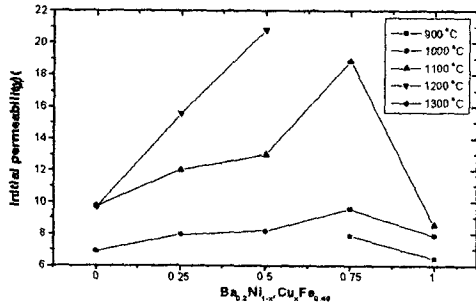


Fig. 4. The initial permeability of  $Ba_{0.2}(Ni_{1-x}Cu_x)_{0.31}Fe_{0.49}$

초투자율은 꾸준히 증가하는 경향을 보이고 있으나  $Ba_{0.2}(Ni_{0.25}Cu_{0.75})_{0.31}Fe_{0.49}$  조성이후에 모든 소결온도에서 그 값이 급격히 감소하는 경향을 보여주었다. 초투자율의 최고값은 A18의 조성에서 나타났으며, 소결온도가 높아짐에 따라 그 값이 증가하는 경향을 보여주었다.

#### 3-2-2 복소투자율

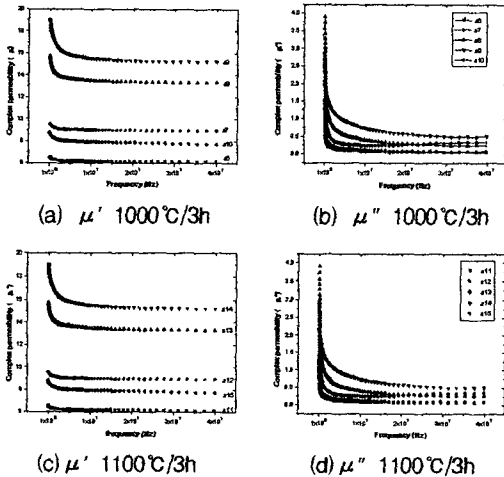


Fig. 5. Permeability spectrums as a function of frequency. (a)~(b) a6~a10, (c)~(d) a11~a15 2절에서 언급한 조성의 변화에 따른 복소투자율의 변화를 100KHz~40MHz 주파수범위에서 측정하여 소결온도에 따른  $\mu'$ ,  $\mu''$ 을 Fig. 5에 보였다.

A9 조성과 A14 조성의 투자율값이 높게 나왔으며 MHz 대역의 주파수 증가에 따른 투자율의 변화는 없었으며 이러한 결과로 수십MHz 대역 이상에서 chip-inductor로 사용이 불가능한 NCZF의 대체 재료로 사용가능 할 것이라 판단된다.

### 4. 결 론

$Ba_{0.2}(Ni_{1-x}Cu_x)_{0.31}Fe_{0.49}$ 의 조성중에서 Ba와 산화제 2철의 조성을 각각 0.2mol%, 0.49mol%로 결정한 후, NiO와 CuO의 함량 변화를 주어 소결온도에 따른 투자율 등의 변화에 대하여 살펴보았다.

- (2) 초투자율 소결온도가 a18의 조성에서 가장 높은값이 관찰되었으며 소결온도가 높아짐에 따라 초투자율 값도 증가하는 경향을 보였다.
- (3) 100KHz~40MHz 대역에서 측정된 복소투자율은 A9, A14의 조성에서 높은 투자율을 보였으며 수십MHz대역 이상은 투자율의 변화가 없었다. 이러한 결과로 미루어 보았을 때 수십MHz 대역 이상에서 chip-inductor로 사용이 불가능했던 NCZF의 대체 재료로 사용가능 할 것으로 판단된다.

### 5. 참고문헌

- (1) Alex Goldman, "Modern Ferrite Technology", Van Nostrand, 145-185, 225-256.(1990)
- (2) H. Monoi, A. Nakano, T. Suzuki, T. Nomura, Ferrites: Proceeding of the 6th International Conference of Ferrites(ICF6), 1202(1992).
- (3) 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).
- (4) 류병환, 김선희, 최경수, 고재천 한국자기학회지, 6(6), 937(1995).
- (5) 남중희, 정현학, 신재영, 오재희. 한국자기학회지, 5(3), 191(1995).
- (6) 김경용, 이종규, 김왕섭, 강선모, "소형화 적층 칩 인덕터(Chip Filter)개발에 관한 연구보고서", 99(1191)
- (7) "measuring the dielectric constant of solids with the network analyzer", HP product note 8510-3
- (8) A. Z. Samir, A. Fujiwara "Measurement and Verification of complex permeability of ferrite material by S-parameter techniques", 1998