

Ni-Zn Ferrite의 조성성분 및 소결온도에 따른 물리적 특성의 실험적 연구

고재귀*

충실대학교 물리학과, 서울시 동작구 상도5동 1-1

(2006년 10월 4일 받음, 2006년 10월 18일 최종수정본 받음)

기본조성(Ni_{0.35}Cu_{0.2}Zn_{0.45})_{1.02}(Fe₂O₃)_{0.98}과 NiO 비율을 증가시키고 ZnO를 감소시킨 또 다른 기본조성 (Ni_{0.4}Cu_{0.2}Zn_{0.4})_{1.02}(Fe₂O₃)_{0.98}에 grain boundary의 높은 저항층을 형성하고 flux로서 사용하기 위해서 0.1 mol% CaCO₃와 입자의 성장을 촉진시켜 낮은 손실, 높은 투자율을 얻기 위한 목적으로 V₂O₅를 0.03 mol% 첨가하였다. 이들 원료들을 혼합한 후 600 °C에서 2시간 동안 가스시킨 분말을 toroid 시편으로 만들어 소결온도 1,050 °C, 1,070 °C, 1,100 °C에서 각각 2시간 동안 공기 중에서 소결하였다. 각 시편들에 대한 밀도는 4.90~5.10 g/cm³으로 나타났고, 각 시편들의 고유저항은 10⁸~10¹² Ω-cm으로 측정되었으며, 결정립의 크기는 대략 3.0~ 8.0 μm이었다. 시편들의 자기유도 특성 값이 대부분 우수하게 나타났으며, 그 중에서도 기본조성 (Ni_{0.4}Cu_{0.2}Zn_{0.4})_{1.02}(Fe₂O₃)_{0.98}에 CaCO₃와 V₂O₅를 첨가하고 1,070 °C에서 소결한 시편의 특성 값이 잔류자기유도 1,660 G, 최대자기유도 4,000 G로 약간 더 우수하게 측정되었으며, 각각 시편들의 보자력은 0.15~0.25 Oe로 전형적인 연자성 재료의 범위로 나타났다. 초투자율, 손실계수, 및 큐리온도는 각각 2,948~2,997, 171~208, 191~202 °C로 나타나 Ni-Zn ferrite에서 측정되는 값들과 대동소이했다. 물리적인 특성값(고유저항, 자기유도, 초투자율, 손실계수, 큐리온도 등)으로 미루어보아 각종 microwave 통신기기 core 및 고 투자율 deflection yoke core 등으로 사용이 가능하다.

주제어 : 초투자율, 미세구조, 자기유도, 큐리온도

I. 서 론

Microelectronics device 기술의 발전으로 인해 각종 부품용 소재의 적층화 및 박막화에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며 동시에 각종 전자제품의 고성능화 및 소형화 그리고 박막화를 추구하고 있다. 전자부품에서 큰 위치를 차지하는 ferrite 역시 그 중요한 대상이 되고 있다. Ferrite 가운데 Ni-Zn ferrite와 Mn-Zn ferrite 사용 빈도가 제일 많은데 Ni-Zn계 ferrite는 Mn-Zn계 ferrite에 비해서 투자율은 낮으나, 고유저항이 높아 와전류손실이 작고 [와전류손실 ∝ (주파수)²/고유저항] 온도 안정성이 양호하여 Mn-Zn ferrite 보다 높고, 넓은 주파수 범위에 걸쳐서 사용이 가능하고 오디오 및 비디오 제품 등의 고주파용 자심코어에 많이 이용되어오고 있다 [1, 2].

Ferrite에 첨가물을 넣었을 때 아래와 같은 식에 의해서 와전류손실 및 잔류손실 감소로 손실이 감소된다고 설명하고 있다 [3].

$$\tan\delta = \tan\delta_h + \tan\delta_e + \tan\delta_r = h_1(L/V)^{1/2}i + e_1f + r_1$$

여기서 $\tan\delta_h$ 는 히스테리시스 손실, $\tan\delta_e$ 와전류손실, $\tan\delta_r$ 잔류손실을 나타내고, 각각의 손실은 다음과 같은 경험식으로 표현된다.

$$\tan\delta_h = h_1(L/V)^{1/2}i$$

$$\tan\delta_e = e_1f$$

$$\tan\delta_r = r_1$$

L은 코어에 감겨있는 코일의 인덕턴스(H), V는 코어의 체적(cm³), h_1 는 히스테리시스 손실계수, e_1 는 와전류 손실계수, r_1 는 잔류 손실계수, i 는 전류, f 는 주파수를 언급한다.

첨가물은 대부분의 경우 손실을 감소시키고 투자율을 저하시키는 효과가 있고, 보통 ferrite의 주원료인 Fe 이온과 이온 반경이 비슷한 첨가물을 넣을 경우, 원자가 및 전자구조의 차이에 의해서 결정격자의 변형을 일으킨다. 이러한 변형으로 이방성을 가지는 자구가 형성되면, 이 자구 내의 스핀은 고정되며, 이온 반경이 크면 다른 첨가물은 입계에서 응집하여 non-magnetic film을 형성하고, 이 film은 부근의 격자를 변형시켜 투자율을 저하시킨다. 첨가물 중 소결시 liquid film을 형성하는 경우는 불규칙 입자 성장을 촉진하는데, 이것은 액상이 입계의 표면에너지를 변화시키기 때문이다.

Ferrite의 물리적 특성은 고유특성(원료조성, 결정구조)과 외적특성(제조공정)이 있으며, 고유특성에는 자기이방성, 표화자화, 자왜, 큐리온도 및 고유저항 등이 있으며, 외적특성으로는 초투자율, 보자력 및 자기손실 등을 언급할 수 있는데, 이러한 고유특성 및 외적특성 등을 측정하였다. Ni-Zn계 ferrite의 입계에 높은 저항층을 형성하고 소결을 촉진시켜서 낮은

*Tel: (02) 820-0421, E-mail: jgkoh@ssu.ac.kr

손실, 높은 투자율 및 자기유도를 얻기 위한 목적으로 0.1 mol% SiO₂와 0.04 mol% V₂O₅를 첨가하여[4] 첨가물에 의한 Ni-Zn ferrite를 제조하고 이들 각각에 대한 물리적인 특성값(자화, 초투자율, 손실 factor 등)을 조사하였다.

II. 시편 제조

Raw material로 시약급 NiO, CuO 및 ZnO와 Fe₂O₃를 기본 조성 Ni_xZn_yCu_zFe₂O₃(x + y + z = 1)에 따라 (Ni_{0.35}Cu_{0.2}Zn_{0.45})_{1.02}(Fe₂O₃)_{0.98}로 만든 시편들을 A, NiO 비율을 증가하고 ZnO를 감소시킨 또 다른 기본조성 (Ni_{0.4}Cu_{0.2}Zn_{0.4})_{1.02}(Fe₂O₃)_{0.98}로 제조한 시편들을 B라 명명하였다.

여기에 grain boundary의 높은 저항층을 형성하고 CaCO₃는 용점이 낮아 소결온도가 520 °C 이상이 되면 액상이 되어 소결을 촉진시킨다고 생각되어 flux로서 사용하기 위해서 0.1 mol% CaCO₃와 입자의 성장을 촉진시켜 낮은 손실, 높은 투자율을 얻기 위한 목적으로 V₂O₅를 0.03 mol% 첨가하여[4] 기본조성 A에 첨가물을 넣은 것을 A', 기본조성 B에 첨가물을 넣은 것을 B' 라 이름 붙였다.

각 원료를 정확하게 측정하여 raw material : methyle alcohol : steel ball의 무게 비를 1 : 1.5 : 3으로 하여 ball mill jar에 넣고 120 rpm의 속도로 24시간 습식 혼합하여, 80 °C에서 50시간 동안 건조하여 수분을 제거하였다. 건조한 혼합 형태의 작은 덩어리를 1시간 동안 ball mill하여 70 mesh 체에 통과시킨 다음 600 °C에서 2시간 동안 가소시킨 분말을 혼합할 때와 마찬가지로 2시간 동안 ball mill하여 성형하였다[5].

성형은 각각 시료들을 20 g씩 측정하여 toroid형 금형(OR 30D-8-20H)을 사용하여 2.5 ton/cm²의 압력으로 수행하였으며, 성형이 끝난 시편들을 온도 controller가 부착된 tube furnace에 넣고, 소결온도 1,050 °C, 1,070 °C, 1,100 °C에서 각각 2시간 동안 공기 중에서 소결하였다. 모든 시편들에 대해서 승온 속도를 150 °C/hr, 냉각 속도는 300 °C까지는 100 °C/hr, 그리고 300 °C에서 전원을 끄고 공기 중에서 냉각시켰다. 이때 1,050 °C에서 소결하여 만든 시편들을 1-A, 1-A', 1-B,

1-B'라 명명하고, 1,070 °C와 1,100 °C에서 소결하여 만든 시편들을 각각 2-A, 2-A', 2-B, 2-B' 와 3-A, 3-A', 3-B, 3-B'라 하였으며 이들 내용을 Table I에 나타 내었다.

III. 측정 방법

3.1. 밀도 및 고유저항 측정

소결이 끝난 시편들의 밀도를 측정하기 위해서 시편들을 증류수에 넣고 archimedean법을 이용하여 density determination kit(Sartorius)와 10⁻³ mg 정확도를 가진 electronic analytical balance(Oertling, NA164)를 사용하여 측정하였다.

고유저항은 super megaohmmeter(동화전화, A7745K)를 사용하여 소결한 시편들의 표면에 은을 문힌 후 상온에서 측정하였다.

3.2. 미세구조 조사

연마지(#100→#2,000)로 시편들을 연마한 후 1.0 μm 및 0.3 μm Al₂O₃ 분말로 미세 연마하였고, 연마한 시편들을 47% HF 용액에 5분간 부식시킨 후 금속 현미경(Olympus, PME)을 사용하여 시편들의 미세조직을 관찰 하였다. 결정입자의 크기는 linear intercept method에 의해서 계산하였고, 100배율에서 inch square에 있는 결정입자의 개수를 세어서 이 개수를 아래와 같은 식에 대입하여 ASTM 방법에 의해 결정입자의 크기 수 N을 계산하였다[6].

$$\log n_a = (N - 1)\log 2$$

n_a : number of grains per square inch at ×100 magnification

N : ASTM grain size number

3.3. 자기적인 특성 측정

Toroid형 소결시편들의 B-H곡선을 그려 자기적인 특성값(잔류자기유도, 최대자기유도, 보자력 등)을 얻기 위해서 시편들에 감을 1차 코일 수 N_p 및 2차 코일 수 N_s 를 Faraday 유도법칙 과 Ampere 법칙을 이용하여 만든 아래 식에 의해서 N_p 및 N_s 를 구했다[7].

$$H = 1.4N_p I / L$$

$$N_s AB > 100 \times \text{tracing time/accuracy of flux meter}$$

여기서 L 은 시편의 magnetic path length, A 는 시편의 단면적이고, B-H hysteresis loop의 flux meter accuracy는 0.5% 이고 tracing time은 안전도를 고려하여 1분으로 하였으며, H 는 5 Oe, I 는 3A, B 는 측정 시편들에서 예상되는 최대자기유도 값으로 2 kG로 설정하여 측정하였다.

Table I. Raw materials composition and sintering temperature of each specimens.

mat. comp. sint. temp.	basic comp. (I)	added CaCO ₃ , V ₂ O ₅	basic comp. (II)	added CaCO ₃ , V ₂ O ₅
1050 °C	1-A	1-A'	1-B	1-B'
1070 °C	2-A	2-A'	2-B	2-B'
1100 °C	3-A	3-A'	3-B	3-B'

3.4. 초투자율 조사

소결한 시편들을 주파수 1 MHz에서 LCR meter를 사용해서 L (공심 coil를 포함한 core의 inductance)값을 측정해서 L_0 [공심 coil의 inductance, $L_0 = 0.4N^2A \times 10^{-1}(\mu H)/L_m$, N : coil의 감은 수, A : 시편의 단면적(cm^2), L_m : 시편의 평균 자로장(cm)]값과 비교해서 초투자율($\mu_r = L/L_0$)을 계산하였다.

3.5. 손실계수 및 큐리온도 측정

소결한 시편들을 주파수 1 MHz에서 LCR meter를 사용해서 손실계수(Q value)를 측정하였고, T_c 측정은 시편들에 coil을 감은 것을 소형 전기로에 넣고 온도를 단계별로 올리면서 Q값을 측정하여 T_c 를 결정하였다.

IV. 결과 및 고찰

4.1. 밀도 및 고유저항 측정

Archimedean법으로 측정한 각 시편들에 대한 밀도는 $CaCO_3$ 와 V_2O_5 를 첨가하지 않은 경우는 $4.90 \sim 5.00 g/cm^3$ 로 측정되었고, $CaCO_3$ 와 V_2O_5 를 첨가한 경우 입자의 성장을 촉진시켜 밀도가 $5.02 \sim 5.10 g/cm^3$ 로 약간 증가되었으며, 각 시편들의 고유저항을 측정한 결과 $10^8 \sim 10^{12} \Omega \cdot cm$ 로 나타나 반도체적 성질을 보임을 알 수 있었으며 이 값은 과거에 측정한 값과 비슷하였다[8].

4.2. 미세구조 측정

Linear intercept method에 의해서 결정입자의 크기를 계산하였고, 100배율에서 inch square에 있는 결정입자의 개수를 세어서 이 개수를 측정방법에서 기술한 식에 대입하여 ASTM방법에 의해 결정입자의 크기 수 N 을 계산하여 Table II에 나타내었다.

결정시편들의 결정립 크기를 ASTM번호로 기술하면 8.0~13.5로 나타났고, ASTM번호 11.0(결정립 평균직경 : 7~8 μm), 12.5(4.7 μm), 13.0(4.0 μm), 13.5(3.0~3.50 μm)이고, 결정립 평균직경은 대략 3.0~8.0 μm 로 측정되었다.

4.3. 자기적인 특성 측정

B-H hysteresis curve tracer 장치를 사용해서 자기장의 세기를 $H = 5 Oe$ 로 주었을 때 잔류자기유도(B_r), 최대자기유도(B_m), 보자력(H_c)를 측정하여 그 결과 실험data를 Fig. 1,

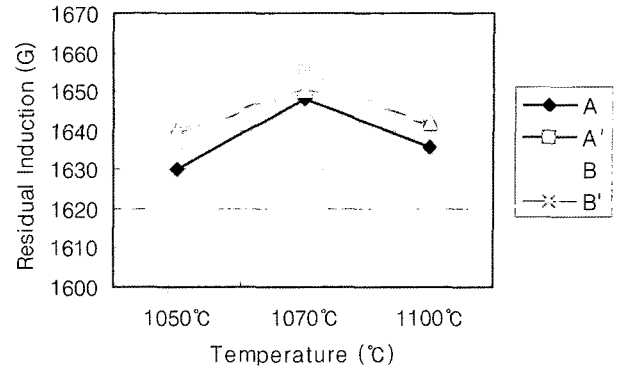


Fig. 1. Sintering temperature vs. residual induction.

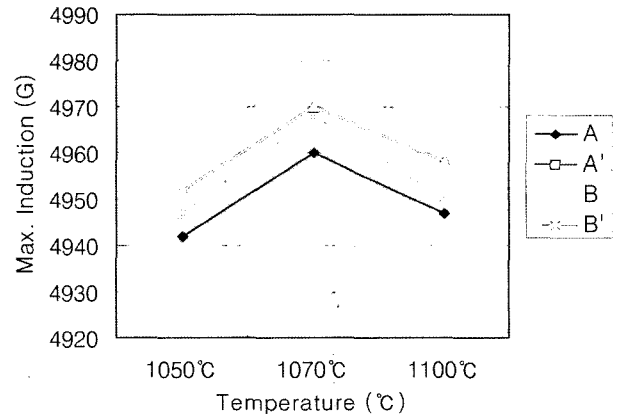


Fig. 2. Sintering temperature vs. maximum induction.

Fig. 2 및 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 1 및 Fig. 2에서 A group 시편들 보다 B group 시편들이 더 큰 자기유도 값을 보이고 있는 이유는 기본원료 배합 시 A group 시편들 보다 B group 시편들이 NiO 성분비율이 높기 때문이라 생각되며, 또한 첨가물을 넣지 않은 경우보다 첨가물을 넣은 경우가 자기유도 값이 더 높는데, 첨가물 $CaCO_3$ 가 grain boundary의 높은 저항층을 형성하고, 용점이 낮아 소결을 촉진시킨다고 생각되며, 소결온도 1,050 °C 보다 소결온도 1,070 °C에서 더 큰값을 보이는 또다른 이유는 소결밀도가 증가하여 결정입자 내부에서 반자계를 형성하는 기공이 감소되었기 때문으로 판단된다[9]. 그리고 Ni Ferrite는 Inverse spinel structure를 가지는데 Ni 이온이 B site에 들어가면 B site에 있는 Fe^{3+} 이온의 일부가 A site로 이동해서 두 site의 magnetic moment 차이가 작아졌기 때문이다.

Table II. The relationship between ASTM grain size numbers and specimen numbers.

Specimen No.	1-A	1-A'	1-B	1-B'	2-A	2-A'	2-B	2-B'	3-A	3-A'	3-B	3-B'
ASTM No.	13.5	12.5	13.0	12.0	11.0	10.0	11.5	10.5	10.5	10.0	9.0	8.0

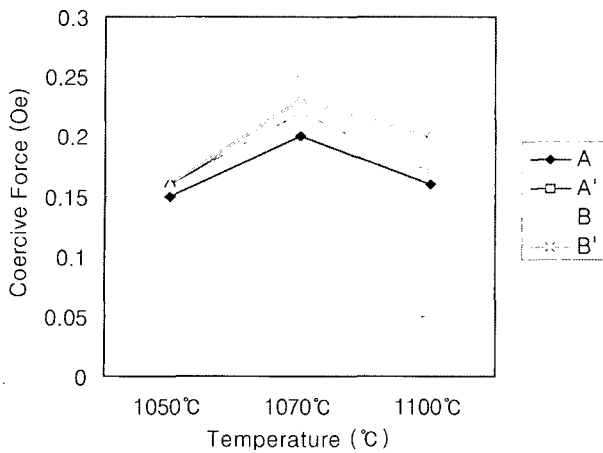


Fig. 3. Sintering temperature vs. coercive force.

소결온도에 따른 보자력의 변화를 Fig. 3에 나타내었는데 첨가물을 넣은 시편들이 기본성분의 시편들보다 약간 큰 값을 보이고 있는데, 그 차이는 미미하다. 소결온도 1,050 °C 보다 소결온도 1,070 °C에서 보자력이 소폭 증가하였고, 소결온도 1,100 °C에서 소결온도 1,070 °C보다 약간 작게 나타났는데, 이와 같은 현상은 소결온도와 자기유도 측정에서 설명한 것과 같이 소결밀도가 증가하여 결정입자 내부에서 반자계를 형성하는 기공이 감소되었기 때문으로 사료된다.

4.4. 초투자율 측정

소결온도에 따른 초투자율의 변화를 Fig. 4에서 나타내었는데 소결온도가 증가할 때 투자율도 증가하는 경향을 보였고, 기본조성으로 만든 시편들 보다 첨가물을 넣어 만든 시편들에서 높은 값을 보였다. 결정립 크기와 초투자율과의 관계에서 결정립의 크기가 클수록 초투자율 값도 크게 나타남을 알 수 있었는데[Table II 참조], 이와 같은 현상은 결정이 커지면 기공(pore)들의 수가 감소하여 자벽(domain wall)의 이동이

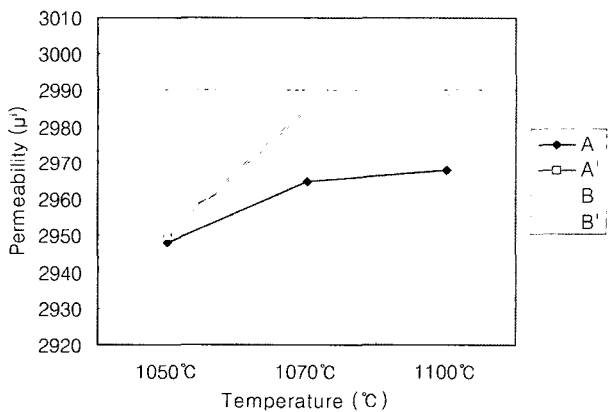


Fig. 4. Sintering temperature vs. initial permeability.

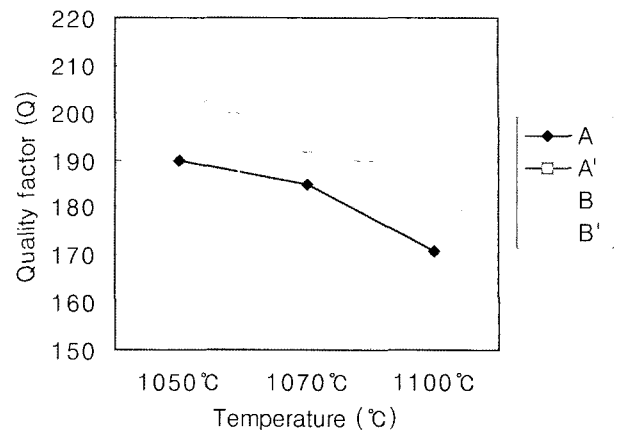


Fig. 5. Sintering temperature vs. quality factor.

용이해지기 때문에 투자율이 증가한다고 생각된다.

4.5. 손실계수 및 큐리온도 측정

Fig. 5은 주파수 1 MHz에서 소결온도에 따른 손실계수(Q)를 표시하였는데 Q값은 190에서 171(A group 시편)으로 소결온도가 증가함에 따라 감소 함을 보이고 있다. 이는 온도 증가에 따라 고유저항이 감소하는 반도체적 성질에 의한 것으로, 온도가 증가하면 Fe²⁺ 이온이 증가하고, 그 잉여 전자가 Fe³⁺로 이동하여[10] 고유저항이 감소하고 와전류 손실이 증가 함으로서 Q값이 감소한다고 알려져 있다. 또한 구조적인 면에서는 결정립의 크기가 작을수록 전하이동을 방해하기 때문에 Q값이 증가하게 된다[11]. 그리고 비등방 장(anisotropy field)의 감소가 열진동에 의한 포화 magnetic moment 감소 보다 빨리 진행됨에 따라 나타나는 현상이라 생각된다[12].

큐리온도(T_c) 측정은 시편들에 coil을 20번 감은 것을 소형 전기기로 넣고 온도를 20 °C, 40 °C, 60 °C 단계별로 올리면서 Q값을 측정하면서 T_c값을 구했는데 T_c 바로 아래에서 투자율이 최대가되고, T_c에서는 급격히 감소하는 온도를 찾아 T_c를 결정하였고, 그 값의 범위는 191~202 °C이었으며, 소결

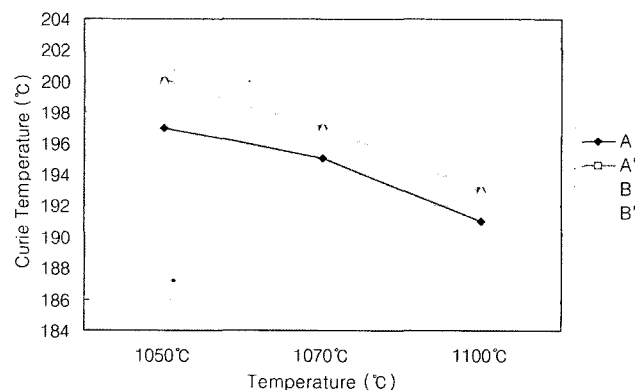


Fig. 6. Sintering temperature vs. curie temperature.

온도가 1,050 °C, 1,070 °C, 1,100 °C 증가함에, T_c 는 197, 195, 191(A group)로 소폭 감소하였다.

V. 결 론

기본조성 $(Ni_{0.35}Cu_{0.2}Zn_{0.45})_{1.02}(Fe_2O_3)_{0.98}$ 와 $(Ni_{0.4}Cu_{0.2}Zn_{0.4})_{1.02}(Fe_2O_3)_{0.98}$ 에 grain boundary의 높은 저항층을 형성하고 소결을 촉진시키기 위한 flux로서 사용하기 위해서 $CaCO_3$ 와 입자의 성장을 촉진시켜 낮은 손실, 높은 투자율을 얻기 위한 목적으로 V_2O_5 를 첨가하여 소결온도 1,050 °C, 1,070 °C, 1,100 °C에서 각각 2시간 동안 공기 중에서 소결한 시편들에 대한 밀도 및 고유저항, 미세구조, 자기유도, 초투자율, 손실계수 및 큐리온도 측정에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 각 시편들에 대한 밀도는 $CaCO_3$ 와 V_2O_5 를 첨가하지 않은 경우는 4.90~5.00 g/cm³로 측정되었고, $CaCO_3$ 와 V_2O_5 를 첨가한 경우 5.02~5.10 g/cm³으로 약간 증가되었다.
2. 각 시편들의 고유저항은 $10^8 \sim 10^{12} \Omega \cdot cm$ 로 나타나 반도체적 성질을 보임을 알 수 있었다.
3. Linear intercept method에 의해서 결정입자의 크기를 계산하고, ASTM방법에 의해 결정입자의 크기를 조사한 결과 그 크기는 대략 3.0~8.0 μm 이었다.
4. 모든 시편들의 자기유도 특성값이 비교적 우수하게 나타났으며, 그 중에서도 1070 °C에서 소결한 $(Ni_{0.4}Cu_{0.2}Zn_{0.4})_{1.02}(Fe_2O_3)_{0.98}$ 에 $CaCO_3$ 와 V_2O_5 를 첨가한 시편의 특성값이 잔류 자기유도 1,660 G, 최대자기유도 4,000 G로 약간 더 우수하게 측정되었다.
5. 보자력은 0.15~0.25 Oe로 전형적인 연자성 재료의 범위로 나타났다.
6. 초투자율, 손실계수 및 큐리온도는 각각 2,948~2,997, 171~208, 191~202 °C이었다.

이상과 같은 여러 가지 물리적인 특성값(고유저항, 자기유도, 초투자율, 손실계수, 큐리온도 등)으로 미루어보아 각종 microwave 통신기기 core 및 고 투자율 deflection yoke core 등으로 사용이 가능하며, 소결온도와 투자율 관계, 그 외 몇 가지 특성(온도 의존성, 에너지 손실 등)에 관한 더 자세한 실험 과 이론적인 관계 등은 앞으로의 연구과제로 생각된다.

감사의 글

“본 연구는 숭실대학교 교내 연구비 지원으로 이루어졌음” 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] N. Taguchi, T. Aoki, H. Momoi, and H. Kishi, Proc.of the 8th International Conference on Ferrite, Kyoto, Japan (2000) p.1122.
- [2] K. Kriebel, T. Schaeffer, A. Paulsen, A. P. Ringg, C. C. H. Lo, and J. E. Snyder, J. Appl. Phys., **97**, 10F101 (2005).
- [3] J. G. Koh, Ungyong Mulli, **12**(5), 484 (1999).
- [4] H. Taitaro, Ferrite, Marugen press (1988) p.47.
- [5] J. G. Koh and J. M. Song, Basic and Application of Magnetic Physics, Soongsil Univ. Press (2005) p.153.
- [6] ANST/ASTM E-112-77 (1997).
- [7] J. G. Koh, Physics of Magnetism and Application, Soongsil Univ. Press (1992) p.85.
- [8] J. G. Koh and K. U. Kim, New Phys., **26**(6), 540 (1986).
- [9] J. G. Koh, Kor. J. of Mat. Res., **12**(7), 791 (2002).
- [10] J. M. Song and J. G. Koh, New Physics, **34**(6), 115 (1994).
- [11] J. M. Song and J. G. Koh, New Physics, **34**(6), 743 (1994).
- [12] J. G. Koh and J. M. Song, Basic and Application of Magnetic Physics, Soongsil Univ. Press (2005) p.1.

The Effect of Chemical Composition and Sintering Temperature on the Experiment of Physical Properties of Ni-Zn Ferrite

Jae Gui Koh*

Department of physics, Soong Sil university, Seoul 156-743, Korea

(Received 4 October 2006, in final form 18 October 2006)

The basic composition of Ni-Zn ferrite was $(\text{Ni}_{0.35}\text{Cu}_{0.2}\text{Zn}_{0.45})_{1.02}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{0.98}$ (group A) and $(\text{Ni}_{0.4}\text{Cu}_{0.2}\text{Zn}_{0.4})_{1.02}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{0.98}$ (group B) with additional 0.1 mol% CaCO_3 and 0.03 mol% V_2O_5 . For high permeability and acceleration of grain growth, CaCO_3 and V_2O_5 was added. The mixture of the raw materials was calcinated at 600 °C for 2 hours and then milled. The compacts of toroidal type were sintered at different temperature (1,050 °C, 1,070 °C, 1,100 °C) for 2 hours in air followed by an air cooling. Then, effects of various composition and sintering temperatures on the microstructure and physical properties such as density, resistivity, magnetic induction, coercive force, initial permeability, quality factor, and curie temperature of the Ni-Zn ferrite were investigated. The density of the Ni-Zn ferrite was 4.90~5.10 g/cm³, resistivity revealed $10^8\sim 10^{12}\Omega\cdot\text{cm}$. The average grain size increased with the increase of sintering temperatures. The magnetic properties obtained from the aforementioned Ni-Zn ferrite specimens were 4,000 gauss for the maximum induction, 0.25 oersted for the coercive force, 2,997 for the initial permeability, 208 for the quality factor, and 202 °C for the curie temperature. The physical properties indicated that the specimens could be utilized as the core of microwave communication and high permeability deflection yoke of high permeability.

Key words : initial permeability, microstructure, magnetic induction, curie temperature