

## 페라이트 페이스트의 고체함량에 따른 칩 인덕터의 특성변화

손승현 · 제해준\* · 김병호

고려대학교 재료공학과

\*한국과학기술연구원 세라믹스연구부

(1998년 11월 17일 접수)

### Property Changes of Chip Inductors by Varying the Solid Loading of Ferrite Pastes

Seung Hyun Son, Hae June Je\* and Byong Ho Kim

Department of Materials Science and Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

\*Division of Ceramics, KIST, Seoul 136-791, Korea

(Received November 17, 1998)

#### 초 록

고체함량을 변화시킨 NiCuZn 페라이트 페이스트를 사용하여 스크린 인쇄법으로  $7.7 \times 4.5 \times 1.0$  mm 크기의 칩 인덕터를 제조한 후, 페라이트 페이스트의 고체함량에 따른 수축률, 소결밀도, 미세구조, 계면반응 등의 물리적 특성 및 자기적 특성 변화를 분석하였다. 저온소결을 위하여 attrition milling 공정을 통하여 미세분말을 준비하였으며, 소결온도는  $880 \sim 940^\circ\text{C}$ 로 변화시켰다.  $900^\circ\text{C}$ 에서 2시간 열처리된 페라이트 후막의 소결밀도는 고체함량이 50, 55, 60%로 증가할수록 5.12, 5.14, 5.18  $\text{g}/\text{cm}^3$ 로 증가하였으며, 이에 따라 칩 인덕터 시편들의 주파수 10 MHz에서 L 값이 2.1, 2.3, 2.5  $\mu\text{H}$ 로 커졌다. Q 값은 소결밀도 증가에 의한 Q 값 증가효과와 아울러 입자가 커짐에 따른 반대 효과로 인하여 고체함량에 따라 87, 90, 94로 큰 변화가 없었다. 페라이트 페이스트의 고체함량 및 소결온도와 무관하게 Ag 성분의 페라이트 쪽으로의 확산현상은 나타나지 않았다.

#### ABSTRACT

Multilayer chip inductors of  $7.7 \times 4.5 \times 1.0$  mm dimension were prepared by the screen printing process using NiCuZn ferrite and silver pastes. In this study, the solid loading of ferrite paste was varied in the range from 50 to 60 wt% and its effect on the physical and magnetic properties of chip inductors were investigated. Fine powders of the ferrite were prepared by the attrition milling to lower the sintering temperature, which was varied at  $880 \sim 940^\circ\text{C}$ . As the solid loading increased, the sintered density of ferrite sheets increased. Consequently, the inductances of chip inductors sintered at  $900^\circ\text{C}$  for 2h increased from 2.1 to 2.5  $\mu\text{H}$  at 10 MHz with increasing the solid loading from 50 to 60 wt%. However, quality factors were not increased significantly with the solid loading. EPMA analysis showed that irrespective of solid loading and sintering temperature, Ag migration from electrode to ferrite was not occurred.

**Key words :** Chip inductor, Screen printing, Ferrite paste, Solid loading, Inductance, Quality factor

#### 1. 서 론

가전 및 전자 부품 산업이 발전함에 따라 수동부품 (L, C, R)의 소형화와 고성능화에 대한 요구에 부응하여 표면실장기술(SMT: surface mount technology)이 급격히 발전되어 왔다. 인덕터를 표면실장소자(SMD: surface mount device)화한 칩 인덕터는 도체 전극선이 페라이트 내부에 밀폐되어 있기 때문에 자기차폐 형태

(magnetic shield type)로 손실이 적고, 부품간의 상호 간섭이 적으며, 높은 인덕턴스(L)와 신뢰성을 얻을 수 있다. 인덕터의 소재로는  $10^6 \Omega\text{-cm}$  정도의 높은 전기 비저항을 갖기 때문에 고주파 특성이 우수하고 공기 중에서 소결이 가능한 Ni-Zn계 페라이트가 사용되어지고, 내부전극으로는 높은 품질계수(Q factor)를 얻기 위해 우수한 전기 전도도( $1.62 \times 10^{-6} \Omega\text{-cm}$ )를 갖으며 공기 분위기에서 소결할 수 있고, 가격이 비교적 저렴한 Ag가

주로 사용되어진다. 그러나 Ag는 용점(961°C)이 낮기 때문에 페라이트 내로의 확산에 의한 영향 등을 고려하여 900°C이하의 저온에서 소결하는 것이 바람직하다.<sup>1)</sup>

일반적으로 치밀한 Ni-Zn 페라이트를 소결하기 위해서는 1100°C 이상에서 소결해야하기 때문에 소결온도를 낮추고자 CuO 성분을 첨가한다. CuO는 페라이트 내에서 확산을 촉진하며, 최적의 CuO 함량은 10 mol% 정도로 알려져 있다.<sup>2)</sup> 또한 페라이트 조성을 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 결핍 조성의 비화학양론적 비율 갖게 하여 산소공공 확산에 의한 소결 촉진을 도모한다.<sup>3)</sup> 간단한 방법으로 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,<sup>4)</sup> V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,<sup>5)</sup> 등의 액상 소결조제를 사용하기도 한다. 그러나 액상 형성을 통한 소결 촉진은 입자의 불균질성장을 일으켜 투자를 감소 및 손실을 증가시킬 수 있으며, 생성되는 액상은 페라이트 내로의 Ag 확산을 촉진시켜 내부 전극의 저항을 증가시키고, 확산된 Ag는 NiCuZn 페라이트에서 입계로 Cu를 석출시켜 불균질 입자 성장과 입계의 변형 및 잔류응력 발생을 일으킬 수 있다.<sup>6-11)</sup> 최근에는 분쇄조건 제어를 통한 미분말을 제조하여 저온 소결하려는 연구가 이루어지고 있다. 기존의 분쇄공정은 약 70시간의 ball milling 공정으로 분쇄하여 미분말을 제조하고 있다.<sup>8,12)</sup>

SMT를 이용한 칩 인덕터 제조방법에는 tape casting 법으로 페라이트 후막을 제조하여 전극을 인쇄하고 through hole을 형성시켜 lamination 공정을 통해 후막 간의 전극을 연결하는 적층방법과 스크린 인쇄(screen printing)법으로 페라이트 페이스트와 전극 페이스트를 번갈아 가며 인쇄하여 적층하는 방법이 있다. 또한 이들 두 방법을 병행하여 제조하는 방법도 있다. 그러나 이러한 제조방법 내의 공정 변수에 따른 물성변화에 대한 연구보고가 거의 없는 실정이다. 그러므로 본 실험에서는 스크린 인쇄법에 의한 칩 인덕터 제조 방법에서, 페라이트 분말과 유기 첨가제의 양을 변화시켜 고체함량이 다른 페라이트 페이스트를 제조하여, 페라이트 페이스트의 고체함량 변화에 따른 칩 인덕터 제반 특성변화를 고찰하고자 하였다. 저온소결을 위한 방법으로는 첨가물 효과의 영향을 피하기 위하여 단순히 attrition milling을 통한 분말의 미세화 공정으로 해결하고자 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 페이스트 제조

페라이트의 조성은 저손실 특성을 가지는 (Ni<sub>0.3</sub>Cu<sub>0.2</sub>Zn<sub>0.50</sub>)<sub>1.03</sub>(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>0.97</sub>+Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>(1 wt%) 조성으로 고정하였으며, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 ZnO는 국산 공업용 고순도 분말을, NiO, CuO 및 Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>는 일제 시약급 분말을 사용하였다. Fig. 1에는 본 실험의 제반 공정도를 나타내었다. 분말 혼합

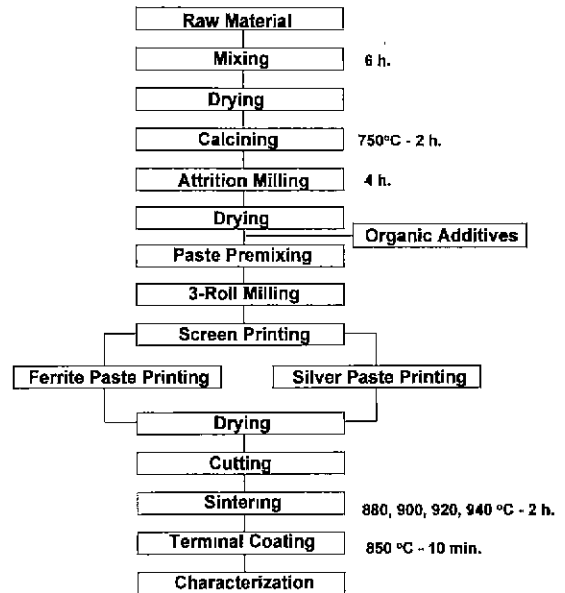


Fig. 1. Flow diagram for preparation of MLCI by screen printing method.

은 원료와 분산매(물), 그리고 steel 볼을 사용하여 6시간 ball milling 하였으며, 건조 후 750°C에서 2시간 동안 하소하였다. 하소된 분말은 저온소결을 위한 분말의 소결도를 증진시키기 위하여 attrition milling을 이용하여 미세화를 추구하였다. 극미세 분말을 얻기 위하여 분쇄 시간을 너무 길게 하면, 불순물 혼입이나 산화철 혼입에 의한 조성 편차 등의 문제가 발생할 수 있으므로 최적의 조건을 구해야 한다. 본 실험에서는 분쇄시간에 따른 입자크기를 입도 분석기(centrifugal particle size analyzer SA-CP2, Shumadzu)를 이용하여 측정된 결과를 바탕으로 4시간 분쇄하였다.

페이스트 제조에 사용된 유기첨가제로 결합제는 ethyl cellulose, 용매는  $\alpha$ -Terpeneol을 사용하였다. 가소제는 polyethylene glycol #400 과 dibutyl phthalate가 무게비 1:1로 혼합된 용액을 첨가하였고, 분산제는 Monopoi 1014를 사용하였다. 페이스트는 하소된 페라이트 분말에 용매, 결합제, 분산제, 가소제 등의 유기물들을 원하는 조성으로 첨가하여 제조한다. 스크린 인쇄용 페이스트의 경우 점도가 높기 때문에 유발에서 1차 혼합하고, 최종적으로 3-roll mill에서 충분히 분산시켜야 한다. 페라이트 페이스트의 고체함량 변화에 따른 제반 특성변화를 조사하기 위하여, 유기첨가제 첨가량은 중복 효과를 피하기 위하여 용매는 단일 용매를 사용하였고, 분산제와 가소제는 각각 1, 3 wt%로 고정시킨 후, 용매와 결합제 양을 변화시켜 고체함량이 50, 55, 60%인 페이스트를 제조하였다.

**Table 1.** Compositions of Ferrite Pastes (wt%)

| Composition No.               | P50 | P55 | P60 |
|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Ferrite Powder                | 50  | 55  | 60  |
| Solvent( $\alpha$ -Terpineol) | 40  | 36  | 32  |
| Binder(Ethyl cellulose)       | 6   | 5   | 4   |
| Plasticizers(PEG+DBP)         | 3   | 3   | 3   |
| Dispersant(Monopol)           | 1   | 1   | 1   |

고체함량이 60% 이상인 경우에는 점도가 높아 인쇄가 되지 않는 부분이 발생하거나, 건조와 계속되는 인쇄과정에서 결합제의 부족으로 인한 균열이 생기는 문제점이 발생하여 본 실험에서는 고체함량의 한계를 60%로 하였다. Table 1에는 본 실험에 사용된 고체함량 50, 55, 60%에 해당하는 페라이트 페이스트의 유기첨가제 조성을 나타내었다. 이 후의 페라이트 페이스트 표기는 Table 1에 의거 P50, P55, P60으로 나타내었다.

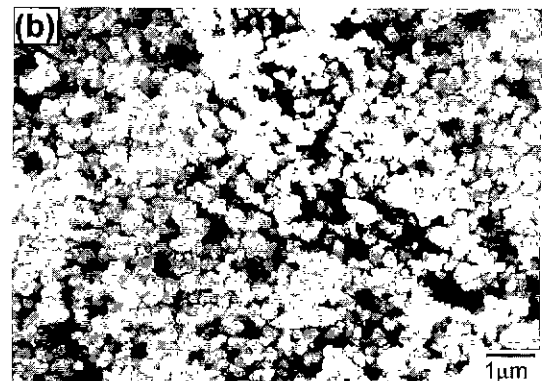
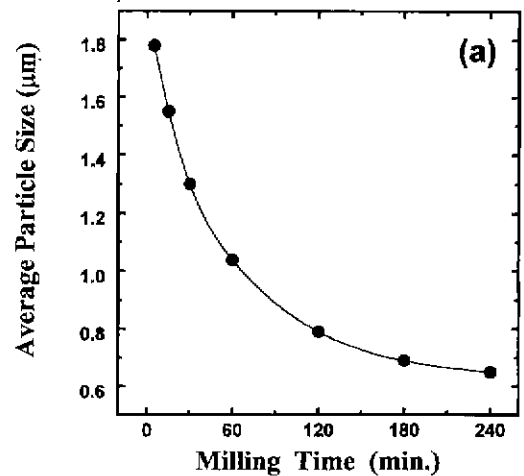
## 2.2. 칩 인덕터 제작

제조된 페라이트 페이스트와 Ag 페이스트를 스크린 인쇄법으로 반복 인쇄하여 칩 인덕터를 제조하였다. 본 실험에 사용된 Ag 페이스트는 Ferro사 E1328을 사용하였다. 인쇄 시 한 번 인쇄 후 충분히 건조시켜야 하므로 100°C 오븐에서 약 10분간 건조시킨 후 계속 인쇄하였다. 인쇄면적은 34×34 mm로서 10×6 mm 크기의 인덕터가 15개 인쇄될 수 있도록 설계하였으며, 내부전극의 회전수는 4.5회 되게 인쇄하였다. 이때 내부전극간의 거리 및 3차원적인 형상이 달라지면 자기적 특성에 영향을 미칠 수 있으므로, 설계구조 상의 인자를 피하기 위하여 인쇄 시 모든 인덕터 시편의 내부전극간 거리 및 3차원적인 형상이 동일하게 인쇄해야 한다. 인쇄가 끝난 시편은 100°C 오븐에서 약 5 시간 건조시켰다. 건조된 시편은 Micro Hole Punching M/C(Automax System Engineering Inc., Model AKP-3100M)을 사용하여 절단하였다. 절단된 시편의 두께는 약 1.2 mm 정도 되었다. 열처리하는 계면 반응을 조사하기 위하여 각각 880, 900, 920, 940°C에서 2시간 동안 열처리시켰다. 소결 이후의 인덕터 시편의 크기는 약 7.7×4.5×1.0 mm 이었다. 열처리된 시편의 양쪽에 외부전극용 Ag 페이스트를 입혀 850°C에서 10분간 열처리한 후 자기적 특성을 측정하였다.

## 2.3. 측정

페이스트 원료로 사용된 페라이트 분쇄 분말의 평균 입자크기를 SEM으로 관찰하였다. 페이스트의 물리적 특성으로는 Viscometer(Brookfield, Model HBT DV-

IICP)를 사용하여 전단속도 1~100 sec<sup>-1</sup> 범위의 점도 변화를 측정하였다. 인쇄 작업과 건조 작업이 끝나 최종 크기로 절단된 시편의 열처리시 선속률은 micrometer 사용하여 측정하였으며, 무게감량은 TGA를 이용하여 분석하였으며 이 결과를 열처리 공정의 선정 근거로 삼았다. 소결체의 미세구조는 광학현미경으로 기공분포와 내부전극의 형태를 관찰하고, SEM으로 입자크기 및 분포를 조사하였다. 미세구조 관찰 시 입체부식은 880°C에서 10분 열처리하여 준비하였다. 고체함량을 변화시킨 페라이트 페이스트들로 제조된 인덕터들의 열처리 온도에 따른 계면 반응을 EPMA line scanning으로 분석하였으며, 주로 Ag 성분의 페라이트 내로의 확산 거동을 조사하였다. 제조된 칩 인덕터들의 자기적 특성은 HP 4194 Impedance Analyzer를 이용하여 주파수 0.1~40 MHz 범위에서의 인덕턴스 및 품질계수를 측정하였다.



**Fig. 2.** (a) Dependence of average particle size on attrition milling time and (b) SEM micrograph of attrition-milled powder for 4 h.

3. 결과 및 고찰

3.1. 분말 및 페이스트

Fig. 2에는 페라이트 하소분말의 attrition milling 시간에 따른 평균 입자크기의 변화 및 4시간 분쇄한 분말의 SEM 사진을 나타내었다. 분쇄 시간에 따른 입자크기는 2시간까지는 급격히 감소하다가 이후부터는 큰 효과가 없음을 알 수 있으며, 분쇄시간 4시간의 경우 평균 입자크기는 0.65  $\mu\text{m}$  정도로 나타났다. 실제로 4시간 분쇄한 분말의 SEM사진을 보면 입자크기는 측정치보다 작은 것으로 보이며, 4시간이 분쇄의 한계점으로 판단되

어 본 연구에서는 분쇄시간을 4시간으로 선정하였다. 4시간의 attrition milling에서는 불 및 용기 벽 재질에 의한 심각한 오염이 발생한다. 본 연구에서는 오염의 주 성분이  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 이므로 이를 보상하기 위하여 소결 시편의 정량 분석을 통하여 최종조성이  $(\text{Ni}_{0.3}\text{Cu}_{0.2}\text{Zn}_{0.5}\text{O})_{1.03}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{0.97} + \text{Co}_3\text{O}_4(1 \text{ wt}\%)$ 가 되도록 출발조성을 조절하였다.

이 분말로 제조된 페라이트 페이스트의 고체함량에 따른 전단속도  $1 \sim 200 \text{ sec}^{-1}$  범위에서의 점도 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 전체적으로 스크린 인쇄에 쓰이는

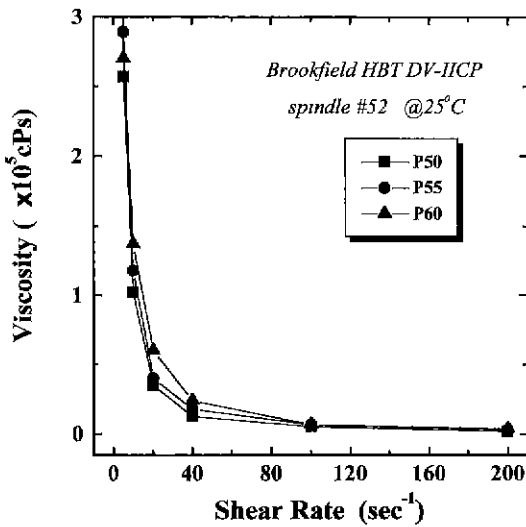


Fig. 3. Dependence of viscosity of ferrite pastes on their solid loading.

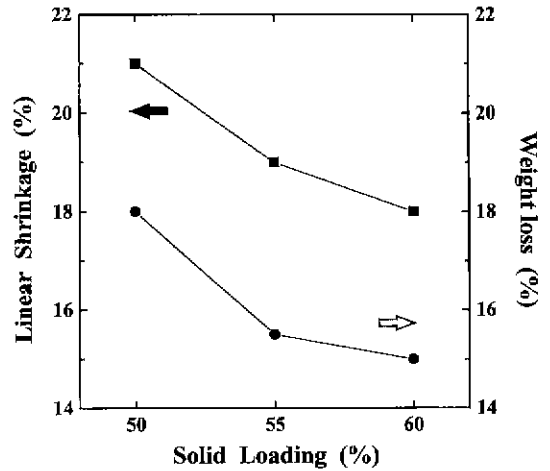


Fig. 5. Dependence of linear shrinkage and weight loss of the inductor sintered at  $900^\circ\text{C}$  on solid loading of the ferrite pastes.

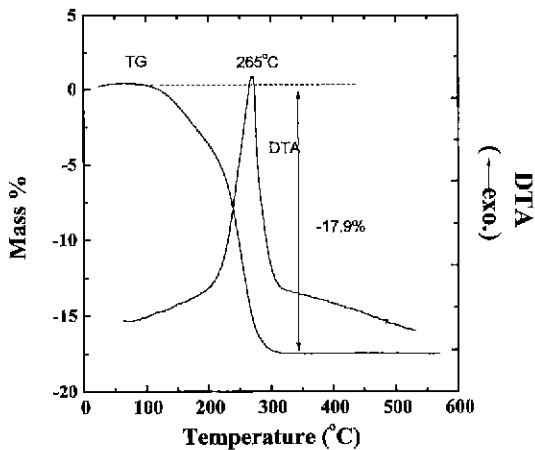


Fig. 4. TG-DTA curves of the dried inductor prepared with P50 ferrite paste.

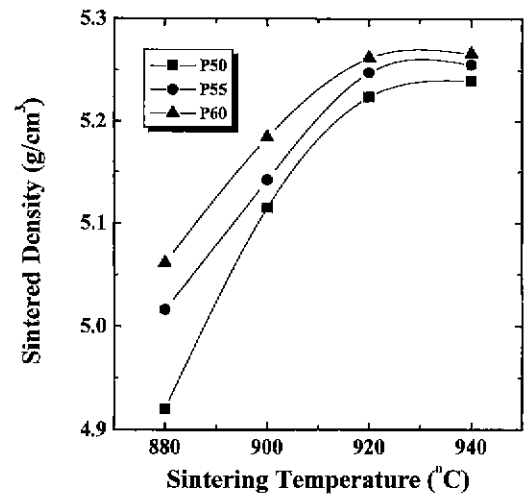


Fig. 6. Dependence of sintered density of ferrite sheets prepared with P50, P55 and P60 pastes on sintering temperature.

페이스트에서 요구되는 thixotropic 형태의 점도변화를 보이고 있으며, 고체함량이 50, 55, 60%로 늘어남에 따라 점도가 증가함을 알 수 있다. 스크린 인쇄에 있어서 전단속도는 페이스트가 스크린 메쉬를 통과할 때와 이후 leveling이 일어날 때에 걸쳐서  $10^3 \sim 10^{-1} \text{ sec}^{-1}$ 의 폭 넓은 변화를 수반하게 되며, 실제 인쇄공정은 다양한 공정변수(squeezing 속도, snap-off 거리, 스크린 mesh

등)를 지니고 있기 때문에,<sup>13-16)</sup> 전단속도  $1 \sim 100 \text{ sec}^{-1}$  범위의 점도값으로는 스크린 인쇄용 페이스트의 특성을 정확히 판단하기는 어렵다. 이 페이스트들의 전단속도  $1 \text{ sec}^{-1}$ 에서의 점도인 base viscosity는 고체함량이 50, 55, 60%로 늘어남에 따라 9400, 10000, 13000 poise로, Ralph<sup>16)</sup>의 스크린 인쇄용에 적합한 페이스트에 대한 조건 중에 나타난 base viscosity =  $8000 \pm 2000 \text{ poise}$  보다

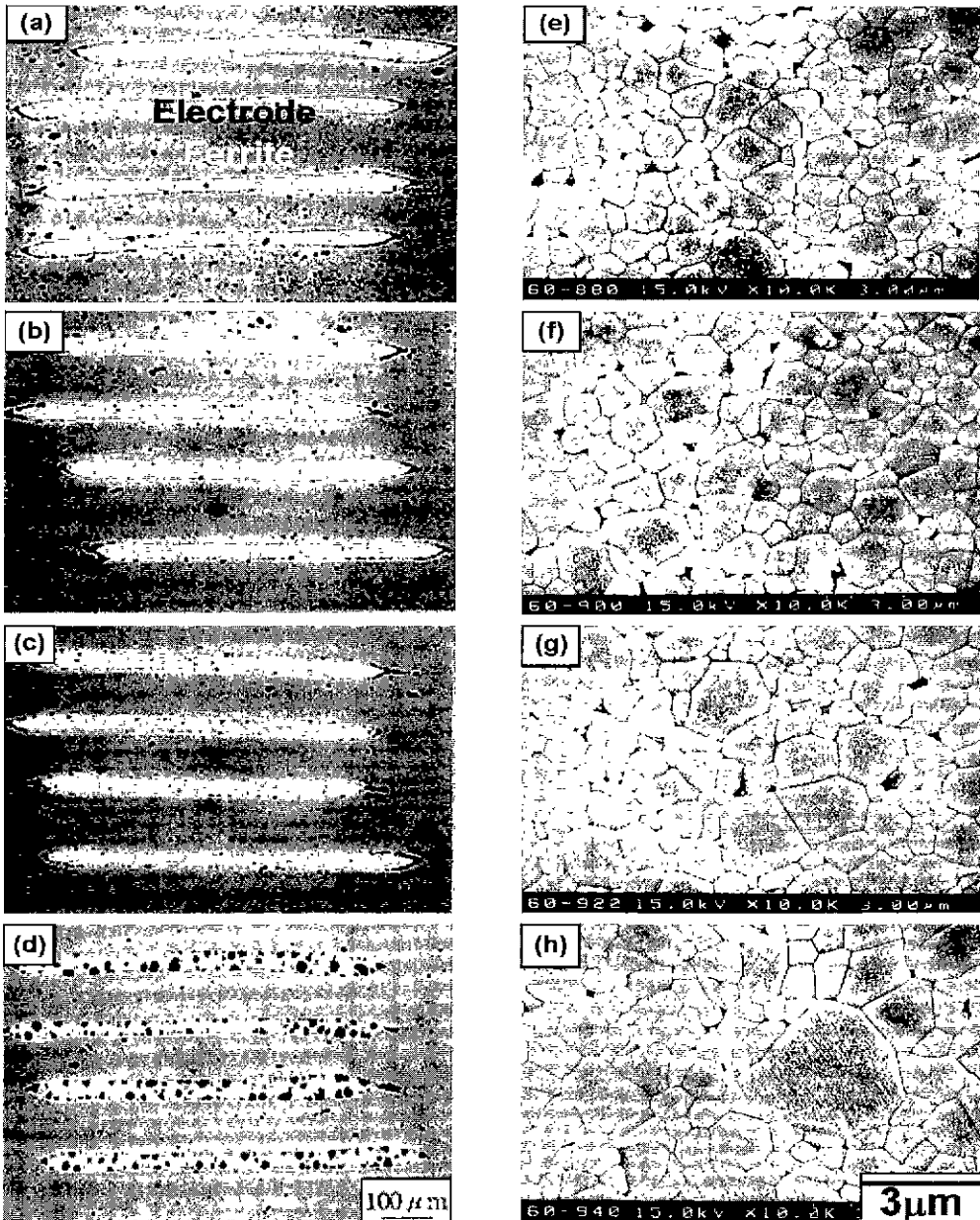


Fig. 7. Optical and SEM micrographs of sintered inductors prepared with P60 ferrite paste after sintering at (a) (e) 880°C, (b)(f) 900°C, (c)(g) 920°C and (d)(h) 940°C.

약간 높게 나타남을 알 수 있다. 그러나 실제 인쇄할 때, P50, P55, P60으로 고체함량이 증가하면서 용매와 결합제량 감소에 따른 건조시간의 감소와 더불어 선 해상도(line resolution)가 향상되었다. 이는 인쇄 시 페이스트가 스크린 메쉬를 통과할 때, 즉 전단속도가 클 때에는 페이스트가 인쇄에 적절한 점도를 나타내며 이후 전단속도가 작은 leveling 시에는 점도가 높아져 해상도가 향상되는 것으로 생각된다.

### 3.2. 칩 인덕터 물성

Fig. 4에는 P50 페이스트로 제조되어 건조된 인덕터의 열분석 결과를 나타내었다. 고체함량의 변화에 따른 열분석 결과는 유기첨가제의 함량에 따른 무게감량의 차이 외에는 별다른 변화가 없이 비슷하게 나타났다. 여기서 제반 유기물들이 300°C 이하에서 급격히 연소됨을 알 수 있으며, TGA 분석 상에서 나타난 무게감량은 P50의 경우 약 18% 정도 되었다. 이를 바탕으로 300°C까지의 승온 속도는 매우 느리게 해야 유기물들의 완전 연소가 이루어짐을 알 수 있다.

Fig. 5에는 900°C에서 소결된 인덕터들의 고체함량에 따른 선수축률과 무게감량을 나타내었다. 고체함량이 50, 55, 60%로 높아질수록 선수축률은 21, 19, 18%로 줄었으며, 무게감량도 약 18, 15.5, 15%로 줄었다. 선수축율은 고체함량이 낮을수록 증가하는데, 유기물 함량이 상대적으로 높기 때문에 소결 시 유기물의 연소량이 많아 수축률과 무게감량이 늘어나기 때문이다. 그러므로 여기서 수축률의 증가는 소결에 의한 치밀화보다 유기물 연소에 의한 효과가 훨씬 큰 것으로 판단된다.

각 페이스트들의 고체함량에 따른 소결밀도 변화는 저온 소결성 및 자기적 특성에 직접적인 영향을 미친다. 그러므로 본 실험에서는 페라이트 페이스트만을 수습화 인쇄하여 소결한 두께 0.5 mm의 페라이트 인쇄후막 시편을 준비하여 소결온도와 고체함량에 따른 소결밀도 변화를 측정하였으며, 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 900°C에서의 경우 P50, P55, P60으로 고체함량이 증가할수록 밀도는 5.12, 5.14, 5.18 g/cm<sup>3</sup>로 증가하였다. 전체적으로 저온에서 소결할수록 고체함량별 밀도차이가 커지며, 밀도 증가의 경향이 둔화되는 920°C 이상에서도 고체함량에 따라 포화되는 소결밀도 값이 차이가 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 유기첨가제의 함량이 많을 경우 유기물 연소 후 생성되는 큰 기포는 소결 시 제거되기 어렵기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 7에는 P60 페이스트로 제조된 인덕터의 열처리 온도에 따른 미세구조를 나타낸 것으로, (a)~(d)의 내부전극 부위의 광학현미경 사진을 보면 두께 약 30 μm의 4 층의 내부전극이 비교적 균일한 층간 두께를 가지

며 인쇄되어 있음을 알 수 있다. SEM사진 (e)~(h)는 시편(a)~(d)의 페라이트 부위의 미세구조를 나타낸 것으로, 열처리 온도가 올라갈수록 기공이 감소하며 입자가 성장되는 것이 확연히 나타나며 전체적으로 저온소결이 잘 되었음을 알 수 있었다. 그러나 소결온도가 증가함에 따라 입경의 불균질성도 증가하는 경향을 보였다. 940°C 열처리한 Fig. 7(d) 사진에서 내부전극 내에 많은 기공이 관찰되는데, 이는 940°C에서 내부전극 Ag

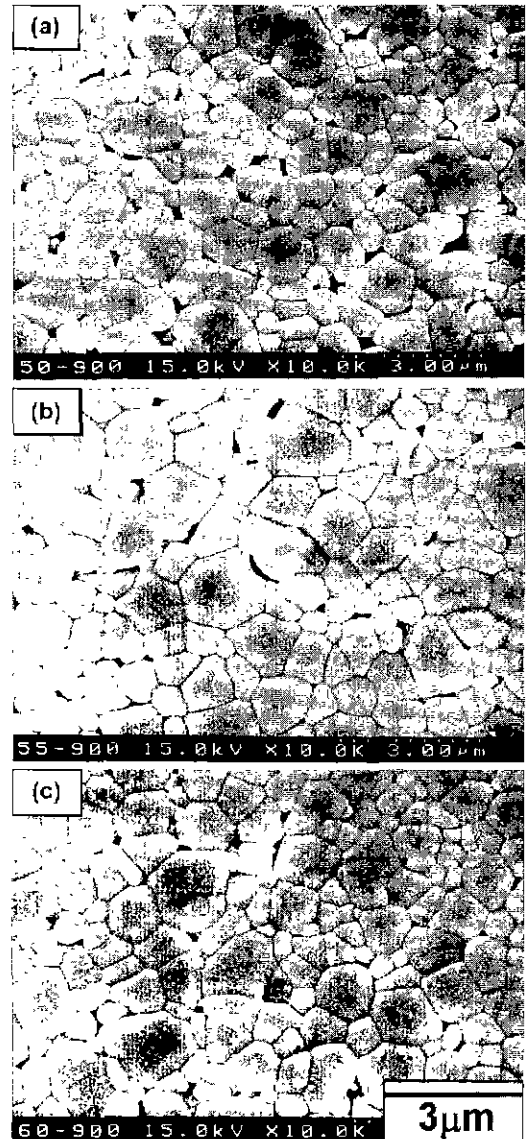


Fig. 8. SEM micrographs of inductors prepared with (a) P50, (b) P55 and (c) P 60 pastes after sintering at 900°C.

입자가 활성화되면서 급격히 성장할 때 생성되는 큰 기포들이 이미 치밀화된 페라이트 부위를 빠져나가지 못하기 때문인 것으로 유추된다.

페라이트 페이스트 고체함량에 따른 미세구조 비교를 위하여 900°C에서 열처리한 인덕터들의 페라이트 부위 미세구조를 Fig. 8에 나타내었으며, 여기서 고체함량이

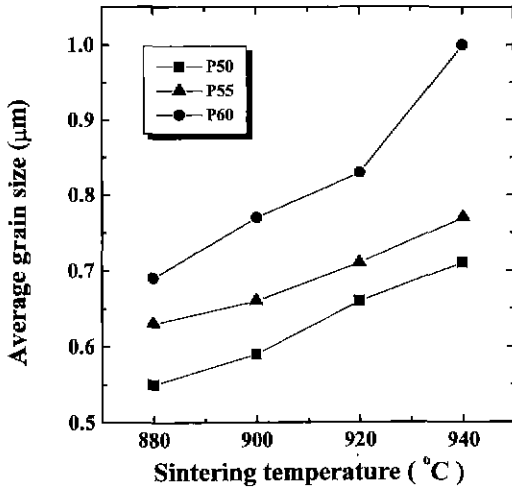


Fig. 9. Dependence of average grain size of the ferrite of inductors prepared with P50, P55 and P60 pastes on sintering temperature.

높을수록 기공이 감소하여 치밀화가 잘 됨을 알 수 있다. 이에 따라 입자 크기도 고체함량이 높을수록 약간 커짐을 알 수 있다. Fig. 9에는 고체함량과 소결온도 변화에 따른 평균 입자크기를 나타내었다. 소결온도에 따른 평균입자크기의 증가도가 P60 페이스트로 제조한 시편에서 가장 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 유기물 함량이 많을 경우 소결 시 생성되는 다량의 기포로 인하여 입자성장이 늦어지거나 방해받기 때문인 것으로 판단된다.

페라이트와 내부전극과의 계면반응을 분석하기 위하여 Fig. 10에는 P60 페이스트로 제조된 인덕터의 열처리 온도에 따른 페라이트와 내부전극과의 계면을 EPMA WDS 분석법으로 Ag, Fe, Zn, Ni, Cu 성분을 line scanning한 결과를 나타내었다. 940°C에서 열처리한 결과를 보아도 Ag 성분은 페라이트 쪽으로 확산되지 않았음을 알 수 있으며, 이러한 결과는 페라이트 페이스트의 고체 함량과 무관하게 동일하게 나타났다. 이는 NiCuZn 페라이트의 저온소결을 위해 첨가제나 유리질을 사용하여 액상소결에 의한 치밀화를 추구하지 않았으므로 Ag 확산 현상이 발생되지 않은 것으로 판단된다.

### 3.3. 자기적 특성

Fig. 11에는 900°C에서 2 시간 소결된 인덕터들의 페라이트 페이스트 고체함량에 따른 L 및 Q 값을 측정할

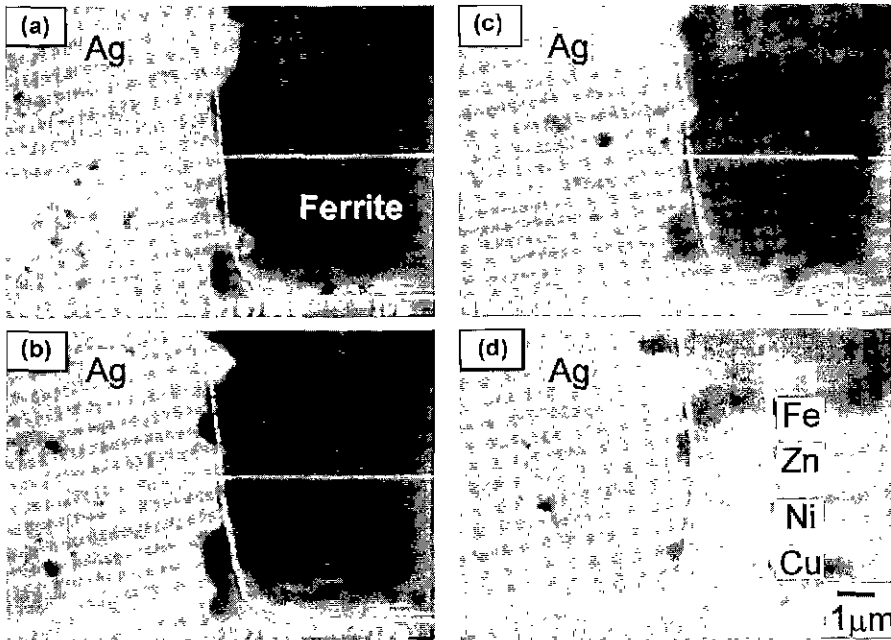


Fig. 10. Line profiles of Ag, Fe, Ni, Zn and Cu across the interface between ferrite and electrode of the inductor prepared with P60 ferrite paste after sintering at (a) 880°C, (b) 900°C, (c) 920°C and (d) 940°C.

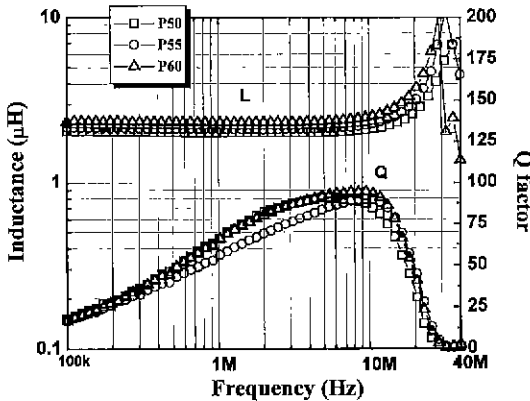


Fig. 11. L-Q curves of inductors prepared with P50, P55 and P60 pastes after sintering at 900°C.

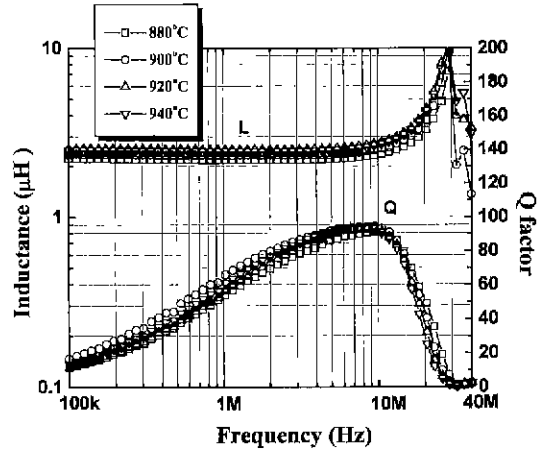


Fig. 12. L-Q curves of inductors prepared with P60 pastes after sintering at various temperature.

결과를 나타내었다. P50, P55, P60으로 고체함량이 높아질수록 L 값은 주파수 10 MHz에서 2.1, 2.3, 2.5  $\mu\text{H}$ 로 커졌으며, Q 값은 87, 90, 94로 큰 변화가 없었다. 고체함량이 높아질수록 치밀화가 잘되어 기공이 감소하고 입자가 커지기 때문에 L 값이 커지는 것으로 나타났다. Q 값은 밀도가 높고 입자가 작고 균일할수록 커짐을 고려할 때, 고체함량이 높을수록 밀도는 높아지나 입자가 커지고 균일도가 떨어지는 등 복합적인 영향에 의하여 고체함량에 따른 Q 값의 변화는 큰 영향을 받지 않는 것으로 판단된다. 그러나 Q 값이 전반적으로 90 부근으로 비교적 높게 나타나는데, 이는 Ag의 확산현상이 발생치 않아 내부도체의 저항증가가 일어나지 않았기 때문으로 생각된다.

Fig. 12에는 P60 페이스트로 제조된 인덕터의 열처리 온도에 따른 L 및 Q 값을 측정된 결과를 나타내었다. 소결온도가 증가할수록 밀도가 증가하여 L 값이 커지나 920°C에서의 L 값이 가장 높게 나타났으며, 이 결과는 P50, P55 페이스트로 제조한 시편에서도 동일하게 나타났다. 이러한 결과는 Figs. 6, 7에서 알 수 있듯이 920°C 이상의 온도에서 소결할 경우 더 이상의 치밀화는 발생치 않고 입자 균일도가 떨어짐에 따른 L 값의 감소효과가 더 크게 작용한 것으로 판단된다. 또한 소결온도가 높을수록 페라이트와 전극의 접합력이 증가됨에 따라 냉각 시 열팽창 계수 차이에 따라 생성되는 응력 등이 복합적으로 L 값에 반영되었으리라 생각된다. Q 값은 10 MHz에서는 소결온도에 큰 영향 없이 거의 같은 값을 보였으나 전 영역에서는 900°C에서의 결과가 가장 높게 나타났다. 이러한 결과는 900°C에서의 미세구조가 비교적 입자가 작고 균일하며 그 이상의 온도에서는 입자가 크고 균일도가 떨어지기 때문인 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

NiCuZn 페라이트 페이스트를 사용하여 스크린 인쇄법으로  $7.7 \times 4.5 \times 1.0$  mm 크기의 칩 인덕터를 제조한 후, 페라이트 페이스트의 고체함량에 따른 물리적 특성 및 자기적 특성 변화를 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 페라이트와 전극 페이스트가 인쇄된 인덕터 시편들의 900°C에서 2시간 열처리 후의 선수축률은 페라이트 페이스트의 고체함량이 50, 55, 60%로 증가함에 따라 약 21, 19, 18%로 줄었으며 무게감량도 약 18, 15.5, 15%로 줄었다.

2. 900°C에서 2시간 열처리된 페라이트 페이스트의 소결밀도는 고체함량이 50, 55, 60%로 증가할수록 5.12, 5.14, 5.18  $\text{g}/\text{cm}^3$ 로 증가하였으며, 유기첨가제의 함량이 많을 경우 유기물 연소 후 생성되는 큰 기포는 소결 시 제거되기 어렵기 때문에 저온에서 소결할수록 고체함량별 밀도차이가 커졌다.

3. 페라이트 페이스트 고체함량에 따른 미세구조를 비교한 결과, 고체함량이 높을수록 기공이 감소하여 치밀화가 잘 되고 입자크기도 커졌으며, 소결온도에 증가에 따른 평균 입자크기의 증가도가 커졌다.

4. 본 연구에서는 저온소결을 위해 첨가제나 유리질을 사용하지 않았기 때문에 페라이트 페이스트의 고체함량 및 소결온도와 무관하게 페라이트와 내부전극과의 계면 반응이 발생치 않아 Ag 성분이 페라이트 쪽으로 확산되지 않았다.

5. 900°C에서 2시간 열처리된 인덕터 시편들의 자기적 특성은 페라이트 페이스트의 고체함량이 50, 55, 60%로 증가할수록 소결밀도가 높아져 주파수 10 MHz에서 L값이 2.1, 2.3, 2.5  $\mu\text{H}$ 로 커졌으며, Q 값은 소결



밀도 증가에 따른 Q값 증가효과와 아울러 입자가 커짐에 따른 반대효과로 인하여 고체함량에 따라 87, 90, 94로 큰 변화가 없었다.

## REFERENCES

1. 구기덕, "Chip Inductor의 기술동향," *Telecommunications Review*, **III**(7), 92-105 (1993).
2. 남중희, 정현학, 신재영, 오재희, "NiCuZn Ferrite의 특성에 미치는 조성의 영향," *한국자기학회지*, **5**(3), 191-196 (1995).
3. A. L. Stuijts, J. Verweel and H. P. Peloschek, "Dense Ferrites and Their Applications," *Trans. IEEE Commun. Electron*, **75**, 726-736 (1964).
4. J.-Y. Hsu, W.-S. Ko, H.-D. Shen and C.-J. Chen, "Low Temperature Fired NiCuZn Ferrite," *IEEE Trans. on Mag.*, **30**(6), 4875-4877 (1994).
5. J.-Y. Hsu, W.-S. Ko and C.-J. Chen, "The Effect of  $V_2O_5$  on the Sintering of NiCuZn Ferrite," *IEEE Trans. on Mag.*, **31**(6), 3994-3996 (1995).
6. F. G. Brockman, K. E. Matteson, "Nickel-Zinc Ferrites : I, Effect of Composition on the Magnetic Properties of a Nickel-Zinc-(Cobalt) Ferrite," *J. Am. Ceram. Soc.* **53** (9), 517-520 (1970).
7. T. Nomura and A. Nakano. "New Evolution of Ferrite for Multilayer Chip Components," 6th Int. Conf. Ferrite (ICF6), 1198-1201, 1992.
8. A. Nakano, H. Momoi and T. Nomura, "Effect of Ag on the Microstructure of the Low Temperature Sintered NiCuZn Ferrites," *J. Jpn. Soc. of Powder and Powder Metallurgy*, **39**(8), 612-617 (1992).
9. M. Fujimoto, "Inner Stress Induced by Cu Metal Precipitation at Grain Boundaries in Low-Temperature-Fired Ni-Zn-Cu Ferrite," *J. Am. Ceram. Soc.* **77**(11), 2873-2878 (1994).
10. S. Sugihara and K. Okazaki, "Wetting of Ni-Zn Ferrite with Electrode Metals and Their Interface," 6th Int. Conf. Ferrite (ICF6), 370-373 (1992)
11. M. Satoh, A. Ono, T. Maruno and N. Kaihara. "The Technology of Electrode for Multilayer Chip Inductor (II) -Internal Conductor-," 6th Int. Conf. Ferrite (ICF6), 1210-1213 (1992).
12. H.-M. Sung, C.-J. Chen, W.-S. Ko and H.-C. Lin, "Fine Powder Ferrite for Multilayer Chip Inductors," *IEEE Trans. on Mag.*, **30**(6), 4906-4908 (1994).
13. L. F. Miller, "Paste Transfer in the Screen Process," *Solid State Technology*, June, 46-52 (1969).
14. L. F. Miller, "Screenability and Rheology," *Solid State Technology*, October, 54-60 (1974).
15. B. M. Austin, "Thick-Film Screen Printing," *Solid State Technology*, June, 53-58 (1969).
16. R. E. Trease and R. L. Dietz, "Rheology of Paste in Thick-Film Printing," *Solid State Technology*, January, 39-43 (1972).