

수축율 조절에 의한 적층 칩 LC Filter의 동시 소성에 관한 연구

김경용 · 이종규 · 김왕섭 · 최 환*

한국과학기술연구원 세라믹스 재료연구단

*한국쌍신전기주식회사

(1991년 7월 3일 접수)

A Study on Co-Firing of Multilayer Chip LC Filter by Control of Shrinkage

Kyung-Yong Kim, Jong-Kyu Lee, Wang-Sup Kim and Hwan Choi

Div. Ceramics, KIST

*Korea Sang Shin Elec. Co. Ltd.

(Received July 3, 1991)

요 약

복합 적층 칩 LC 필터 제조시 해결하여야 할 여러 문제 중 자성체(L part) 부분과 유전체(C part) 부분과의 동시소성시 일어나는 계면에서의 균열, 휘어짐, delamination을 방지하기 위하여 수축율 조절에 대해 연구하였다. 수축율은 원료조성과 출발입경, 하소온도 및 유기결합제 함량을 변화시켜 조절하였다. 유전체 sheet는 0.5 μm의 평균입경을 갖는 96 wt% TiO₂에 3 wt% CuO와 미량의 MnO₂, SiO₂를 첨가하여 750°C 2시간으로 하소한 후 65 wt%의 유기결합제와 혼합하여 제조하였다. 자성체 sheet는 49.5 mol% Fe₂O₃, 20.5 mol% ZnO, 20 mol% NiO 그리고 10 mol% CuO의 조성을 775 °C, 2시간 하소한 후 60 wt%의 유기결합제와 혼합하여 제조하였다. 이를 두 sheet를 250 kg/cm²의 압력으로 적층한 다음 900°C, 2시간으로 동시 소성하여 휘어짐없이 복합 적층 칩 LC 필터를 제조할 수 있었다.

ABSTRACT

Among many problems that need to be solved in the process of preparing multilayer chip LC filters, we studied the control of shrinkage in order to prevent the crack, warpage, and/or delamination which occurs at the interface between the inductance (L part) and the capacitance (C part). Shrinkage was controlled by compositions, powder size, calcining temperature and amount of organic binder. Capacitance sheet was prepared by mixing 65 wt% binder with the composition of 96 wt% TiO₂ having an average particle size of 0.5 μm, 3 wt% CuO. After small amount of MnO₂ and SiO₂ added, it was calcined at 750°C for 2 hr. Inductance sheet was prepared by mixing 60 wt% binder with the composition of 49.5 mol% Fe₂O₃, 20.5 mol% ZnO, 20 mol% NiO and 10 mol% CuO which was calcined at 775°C for 2 hr. These sheets was laminated at 250 kg/cm², and co-fired at 900°C for 2 hr to give rise to a multilayer chip LC filter without any warpage.

1. 서 론

현대 전자요법의 신기술을 이용한 컴퓨터산업, 통신 산업 등의 주요부품에 사용되는 기능재료의 대부분이 전자회로의 집적화, 전자부품의 소형화, 고성능화에 따라 표면실장이 가능한 칩(chip)의 형태로 개발되고 있다¹⁾.

현재 개발된 표면실장형 복합적층부품에는 IFT, LC trap 그리고 LC filter 등이 있다^{2,3)}. Chip LC filter는 현재

f_c(Cutoff frequency)가 0.6~10 MHz대의 low pass filter, f_o(Center frequency)가 1~5 MHz대의 band pass filter, f_h가 1~10 MHz대의 high pass filter와 delay line 등으로 사용되고 있다⁴⁾.

Chip LC filter의 개발에 이어 CR조합, 나아가서 LCR 복합 적층 칩부품의 개발도 연구 중이다. 그리고 sputtering 방법을 이용한 칩 인덕터의 개발, 칩 LC 필터의 개발 및 박막 LCR 복합 부품의 개발도 진행 중에 있다²⁾.

Chip LC filter는 유전체층과 전극도체 패턴이 구성하는 콘덴서 부분과 자성체층과 코일용 도전 패턴을 교차적층하여 구성하여 만든 인더터스 부분을 함께 구성한 LC 복합부품이다. 이 적층 Chip filter 제조시 문제되는 것으로는 L 및 C part의 열팽창계수(TEC) 차이에 기인하는 균열, 수축율의 차이에 의한 균열 또는 delamination의 발생, 내부전극과 다른 산화물과의 반응에 의한 evaporation과 migration, L부분과 C부분에서의 chemical interdiffusion, 내부전극의 migration에 의한 L part의 전극 winding 부분의 소결 향상 및 패라이트의 소결밀도가 낮을 때 발생하는 내부 전극 주위의 균열 등이 있다. 유전체 부분과 자성체 부분의 동시소성시 일어나는 휘어짐, delamination, 균열 등을 막기 위해서는 우선적으로 두 물질간의 소결시 수축율을 맞추어야 한다. 이를 위해서는 유전체 부분과 자성체 부분의 조성조절이 중요하다. 그외에도 소결구동력에 영향을 미치는 비포면적의 변화에 관계되는 출발물질의 입경과 milling 시간, 하소온도 등도 고려하여야 하며 유전체 green sheet와 자성체 green sheet의 결합제 양과 lamination 압력을 등을 조절하여 시트내에서 입자의 packing 정도, pore size 분포 등을 조절하여야 한다^[5].

보통 칩 부품의 내부 전극으로는 고가의 Ag-Pd를 사용한다. 그러나 Ag-Pd 전극은 전극 소성시 Pd의 산화가 일어나기 쉽고 또 Pd 함량이 증가하면 DC 저항이 높아져 Q값을 낮춘다.

본 연구에서는 유전체와 자성체의 동시 소성시 일어나는 문제점을 해결하기 위해 수축율 변화에 영향을 주는 조성, 하소온도, 바인더양, lamination압 등에 대하여 연구하였다.

2. 실험방법

본 실험에 사용한 유전체분말의 출발물질은 주성분이 TiO_2 로서 입경이 다른 3종류의 시약을 사용하였으며 소결조제로 CuO 를 1~5 wt% 첨가하여 이에 따른 수축율의 변화를 알아보았고 MnO_2 , SiO_2 를 첨가하여 유전특성의 변화를 조사하였다.

자성체 성분은 (15~25 mol%) NiO , (15.5~30.5 mol%) ZnO , (5~15 mol%) CuO 패라이트로서 조성에 따른 특성과 수축율의 변화를 조사하였다.

각 조성을 평량한 후 에탄올을 사용하여 24시간 ball milling으로 습식혼합 후 건조한 다음 750, 775, 800, 850 °C에서 2시간 하소하였다. 하소한 분말을 24시간 ball milling으로 재분쇄한 후 1000 kg/cm² 압으로 pellet 모양

으로 성형한 후 900, 925, 950°C에서 2시간 소결하여 밀도, 흡수율, 수축율 변화를 측정하였다.

위와 동일한 방법으로 혼합하고, 하소후 재분쇄한 분말과 아크릴계 유기결합제를 1,1,1 Trichloroethane과 아세톤의 혼합용매와 혼합하여 슬러리를 만들고 24시간 동안 충분히 수성시킨 다음 150~250 μm로 테일 캐스팅하여 건조 후 두께가 60~100 μm인 green sheet를 제조하였다. 유기결합제의 양을 55~70 wt%로 변화시키며 첨가량에 따른 수축율 변화를 알아보았다. 제조된 green sheet를 85°C에서 압력을 50~400 kg/cm²으로 변화시키면서 적층하였다. 유기결합제의 제거거동을 알아보기 위해 대기중에서 1°C/min의 승온속도로 시차열분석을 행하였다.

제조된 적층성형체를 1°C/min의 승온속도로 400°C까지 올린 후 10시간 유지하여 유기결합제를 제거하고 900, 925, 950°C에서 2시간으로 동시 소성하여 밀도, 흡수율, 수축율을 측정하였으며 SEM 및 WDS(wave-length

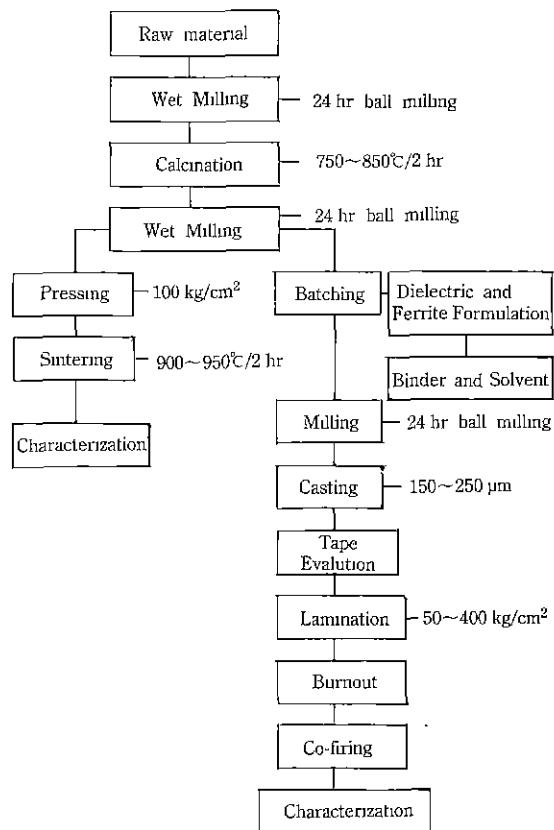


Fig. 1. Flow chart of experimental procedure of multi-layer chip LC filter.

dispersive X-ray spectroscopy)를 이용하여 L 및 C part 계면에서의 상호화산 양상을 관찰하였다.

Fig. 1에 본 실험의 공정도를 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 조성과 하소온도에 따른 수축율 변화

3.1.1. 유전체

본 실험에서 사용한 3종류의 TiO_2 평균입경은 각각 2~3 μm , 1 μm , 0.5 μm 이다. 유전체 조성으로는 온도 보상용 유전체인 TiO_2 를 기본으로 하고 미량의 MnO_2 , SiO_2 를 첨가하였으며 TiO_2 자체만으로는 목적하는 온도 범위에서 소결이 일어나지 않기 때문에 소결조제로서 CuO 를 1~5 wt% 첨가하였다. 내부전극으로는 100% Ag를 사용하였다. Fig. 2에 CuO 첨가량 변화에 따른 밀도와 흡수율을 나타내었다. 900°C에서 2시간 소결한 시 편인 경우 CuO 가 첨가되지 않았을 때는 12%의 흡수율을 보여 소결이 아직 진행 중임을 보여주고 있다. CuO 의 첨가량이 증가함에 따라 소결밀도도 점차 증가하여 3 wt% 첨가하였을 때 치밀화가 완전히 진행되었음을 알 수 있다.

Fig. 3에 0.5 μm 의 TiO_2 분말을 사용하고 800°C에서 2시간 하소했을 때 CuO 첨가량에 대한 소결 수축율의 변화를 나타내었다. CuO 가 첨가되지 않은 경우 800°C 이상에서 소결수축이 일어나지만 CuO 를 3 wt% 정도 첨가하였을 경우 600°C 부근에서 수축이 시작되는 현상을 볼 수 있다. 이는 첨가한 CuO 가 TiO_2 와 반응하여 응집이

낮은 액상을 형성하기 때문이라고 생각된다. CuO 를 5 wt% 첨가한 경우에는 수축은 많이 일어나지만 유전특성이 저하되기 때문에 CuO 함량은 3 wt%로 고정하였다.

Fig. 4에는 TiO_2 의 입경변화에 의한 소결시 수축율의 변화를 나타내었다. 입경이 감소할수록 소결수축이 시작되는 온도가 낮아지고 수축율은 증가하는 경향을 보인다. 0.5 μm 의 TiO_2 분말을 사용하여 900°C 2시간 소결한 경우 수축율이 22%로 가장 크게 나타났다.

Fig. 5에는 0.5 μm 의 TiO_2 분말을 사용한 유전체의 조성에서 하소온도에 따른 소결 수축율을 나타내었다. 하소온도가 증가할수록 소결수축이 시작되는 온도도 높아

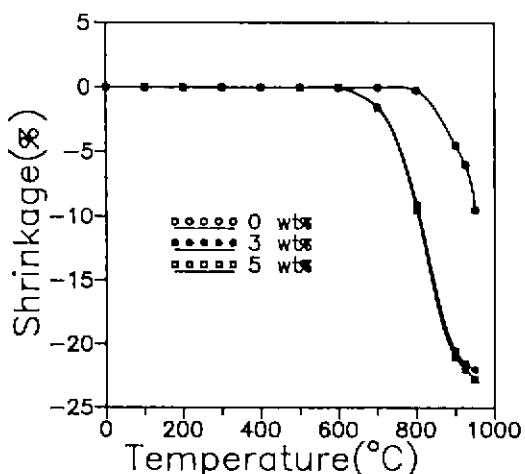


Fig. 4. Shrinkage curves of dielectric part with various particle size of TiO_2 .

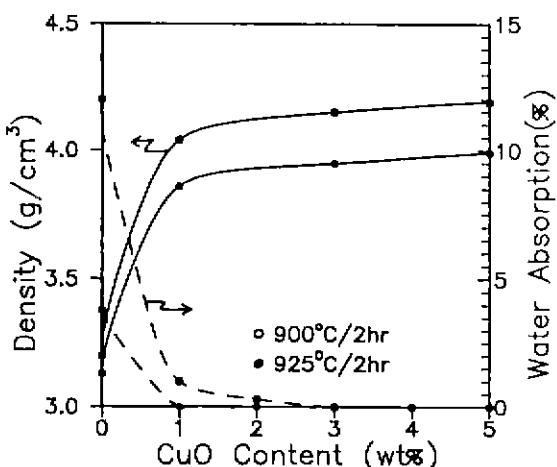


Fig. 2. Density and water absorption of dielectric part as a function of CuO content.

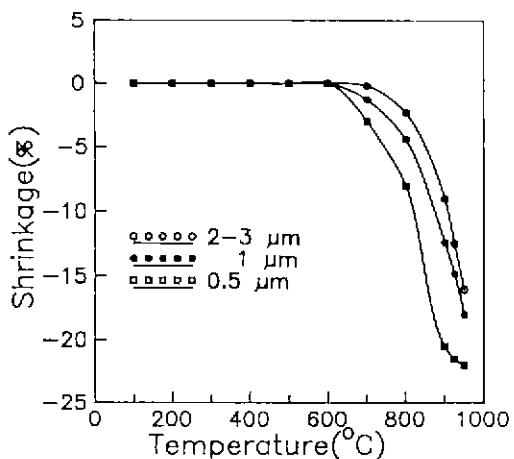


Fig. 3. Shrinkage curves of dielectric part with various amount of CuO (TiO_2 particle size = 0.5 μm).

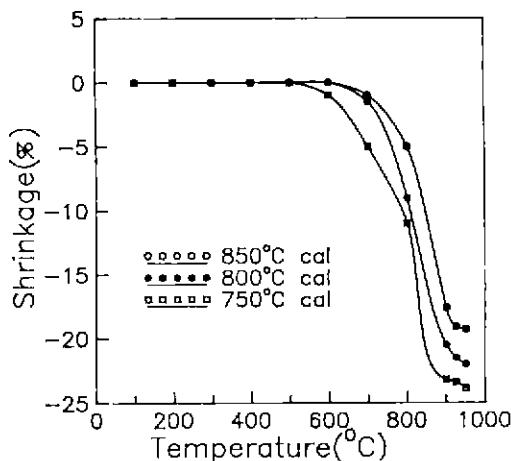


Fig. 5. Shrinkage curves of dielectric part with different calcining temperature using 0.5 μm TiO_2 .

지며 수축율은 감소하는 경향을 보인다. Fig. 4와 5의 결과는 분말의 비표면적 변화에 의한 소결구동력의 변화로 설명될 수 있다.

이상의 결과로부터 목표한 소결온도 900°C에 적합한 것은 0.5 μm TiO_2 를 사용하고 3 wt% CuO 를 첨가한 조성을 750°C에서 2시간 하소한 것으로 하였다.

3.1.2. 자성체

일반적으로 페라이트의 성질은 미세구조, 산화정도, 불순물 그리고 조성에 의해 영향을 받는다. 따라서 소결온도, 수축율과 함께 초투자율, Q-factor, 큐리온도 및 초투자율의 온도계수 등을 균형있게 고려하여 조성을 선택하여야 한다⁶. 본 실험에서는 페라이트의 조성 조절로 950°C 이하에서 완전 소결이 가능하고, 내부전극으로 100% Ag를 사용하여 Q값을 향상시킬 수 있는 Ni-Cu-Zn계 페라이트를 사용하였다.

Ni-Cu-Zn계 페라이트는 Fe_2O_3 함량이나 Ni/Zn비에 따라 여러가지 전기적 특성이나 소결거동이 달라지게 된다. 과량의 Fe_2O_3 가 존재하면 고온에서 소결할 때와 냉각시 Fe^{2+} 의 생성으로 n-type electron hopping으로 전도도가 증가되며 Fe_2O_3 가 부족하면 p-type의 전도기구가 발생하여 eddy current loss가 증가하여 손실이 증가된다⁷.

Fig. 6에 CuO 10 mol%, ZnO 20.5 mol%, NiO 19~21 mol%에서 Fe_2O_3 함량에 따른 수축율의 변화를 나타내었다. Fe_2O_3 함량이 부족한 49.5 mol%의 경우 50.5 mol %보다 저온에서 소결이 가능하였다. 일반적으로 Ni-Zn 페라이트에서 Fe_2O_3 부족 페라이트가 과량 Fe_2O_3 페라이트보다 200°C 정도 소결온도가 낮게 나타난다. 이는

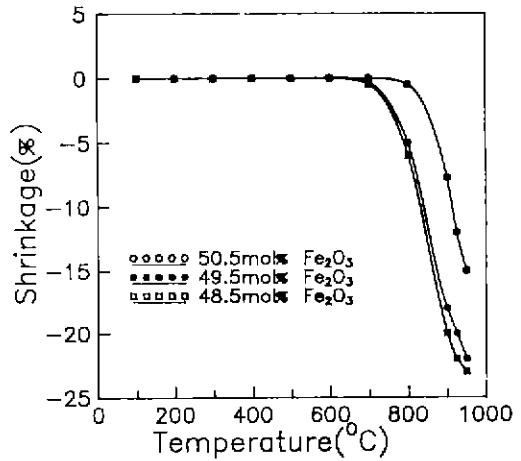


Fig. 6. Shrinkage curves of Ni-Cu-Zn ferrite with various mol% of Fe_2O_3 .

charge balance를 위해 생성된 산소 vacancy에 의한 Cu^{2+} 의 확산 증가 등에 기인한다⁸. 또 Fe_2O_3 가 과량 존재하면 Fe_2O_3 의 이차상이 석출되며 이것이 자벽이동을 방해하여 자기적 특성이 저하되는 원인이 된다⁹. 48.5 mol%의 Fe_2O_3 경우에는 손실값이 높게 나타난다. 따라서 본 실험에서는 Fe_2O_3 의 함량을 49.5 mol%로 고정하였다.

Fig. 7에 Fe_2O_3 49.5 mol%, CuO 10 mol%에서 Ni/Zn비에 따른 수축율 비를 나타내었다. ZnO 함량이 줄어들수록 치밀화가 더 빨리 진행되고 있음을 보여주고 있는데 이는 ZnO 의 함량 증가에 따른 액상형성온도의 증가 때문이라고 생각된다.

Fig. 8에 Fe_2O_3 49.5 mol%, NiO 20 mol%, ZnO 20.5 mol%, CuO 10 mol%의 조성에서 900°C에서 2시간 소결하였을 때 하소온도에 따른 XRD 결과를 나타내었다. 750°C에서 2시간 하소하였을 경우에는 20% 정도의 미반응 Fe_2O_3 가 남아있음을 알 수 있고 하소온도가 증가함에 따라 미반응의 Fe_2O_3 (104면)의 peak가 감소하여 850°C에서 2시간 하소하였을 경우에는 100% 스피넬화하였다. Fig. 9에 위의 조성에서 하소온도에 따른 수축율의 변화를 나타낸 것이다. 하소온도가 낮을수록 비표면적의 증가에 의해 치밀화 속도가 빨라져 750°C 2시간 하소한 다음 900°C 2시간 소결한 시편의 수축율은 22% 정도로 유전체의 수축율 22%와 잘 일치하므로 동시소성시 수축율 차이에 의해 발생하는 결함을 제거할 수 있다고 판단된다.

이상의 결과를 바탕으로 본 실험에서는 페라이트 조성을 Fe_2O_3 49.5 mol%, NiO 20 mol%, ZnO 20.5 mol%, CuO 10 mol%로 하였으며 하소조건은 750°C에서 2시간

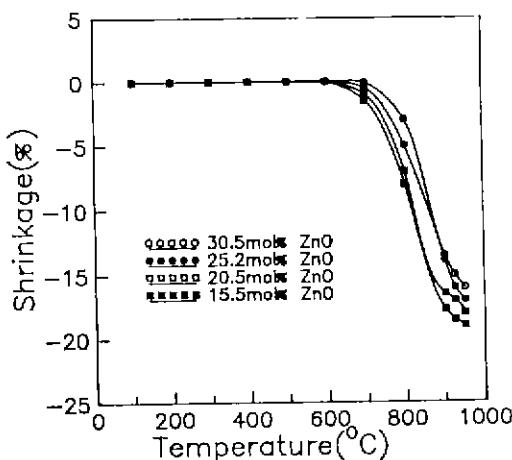


Fig. 7. Shrinkage curves of Ni-Cu-Zn ferrite with various mol% of ZnO.

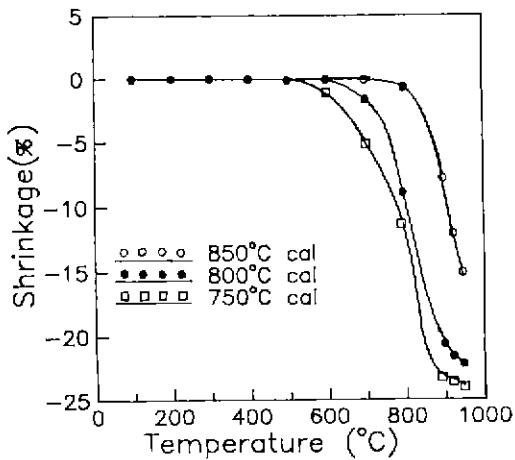


Fig. 9. Shrinkage curves of Ni-Cu-Zn ferrite with different calcining temperature.

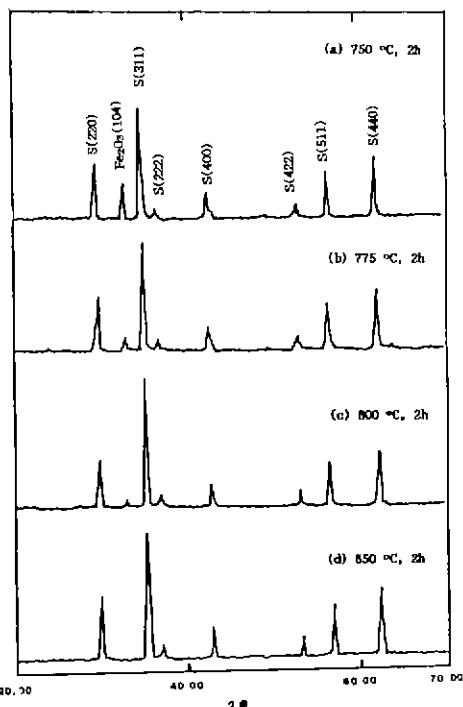


Fig. 8. XRD patterns of Ni-Cu-Zn ferrite as a function of calcining temperature.

으로 정하였다.

3.2. Tape casting시의 수축율 변화

적층 칩 LC filter 제조시 유전체와 자성체를 적층하여

동시 소성하기 때문에 각 층간의 수축율의 차이로 인한 각종 결함의 발생을 방지하기 위하여 소결온도 및 수축율의 조정이 매우 중요하다.

Sheet의 수축율 변화는 출밀물질의 조성이나 평균입경뿐만아니고 lamination압, 분말과 유기결합제의 함량, green sheet내의 유기결합제 분포 등에 따른 capillary forces에 따라서도 영향을 받는다¹⁰⁾. Green sheet내의 유기결합제의 제거거동은 확산에 의해 지배받는 것과 capillary migration에 의한 것으로 나눌 수 있는데¹¹⁾ 이들 기구는 유기재료의 물리적 성질, green sheet를 구성하는 입자의 충진정도, 휘발성 물질을 제거하는 heating schedule에 따라 달라진다¹²⁾.

Fig. 10에 TiO_2 입자크기를 변화시키면서 96 wt% TiO_2 , 3 wt% CuO, 0.6 wt% MnO_2 , 0.4% SiO_2 의 유전체 조성을 800°C에서 2시간 하소 후 tape casting한 green sheet와 Fe_2O_3 49.5 mol%, NiO 20 mol%, ZnO 20.5 mol%, CuO 10 mol%의 자성체 성분을 같은 조건으로 제조한 green sheet를 900~950°C에서 2시간 소성하였을 때의 density 변화를 나타내었다. 유전체의 경우 입자가 미세할수록 소결온도가 낮아지고 900°C 2시간 소결하였을 때 4.15 g/cm³ 정도로 높은 체적밀도를 얻을 수 있었다. 자성체의 경우 체적밀도는 5.05 g/cm³로 자성체와 유전체의 밀도 차이가 상당히 크기 때문에 tape casting시 유기 결합제 함량과 초기 결합제 제거과정을 주의깊게 조절하여야 한다.

Fig. 11에 유전체 sheet의 하소온도에 따른 수축율 변화를 나타내었다. 비교를 위해 자성체 sheet는 하소온도를 750°C/2시간으로 고정시켰으며 아크릴계 유기결합

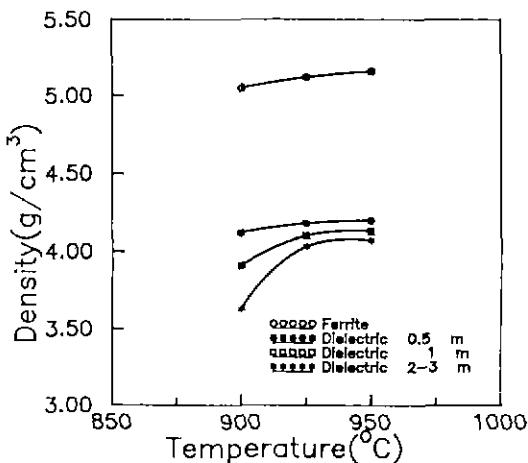


Fig. 10. Density vs. sintering temperature of ferrite and dielectric tape.

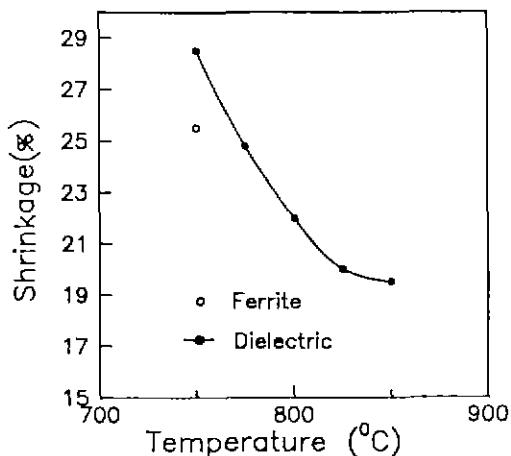


Fig. 11. Shrinkage curves of L and C parts as a function of calcining temperature (sintering at 900 $^\circ\text{C}$, 2 h).

제의 함량은 60 wt%로 하고 900 $^\circ\text{C}$, 2시간 소결하였다. 0.5 μm TiO_2 분말을 출발물질로 사용한 유전체 sheet는 하소온도를 750, 775, 800, 850 $^\circ\text{C}$ 2시간으로 변화시킨 분말을 사용하였으며 유기결합제 함량을 60 wt%로 고정한 다음 900 $^\circ\text{C}$ /2시간 소결하였다. 자성체 sheet의 수축율은 25.5%였다. 유전체의 경우는 하소온도에 따라 수축율의 심한 변화를 보여주고 있으며 775 $^\circ\text{C}$, 2시간으로 하소한 경우 750 $^\circ\text{C}$, 2시간 하소한 자성체 sheet와 수축율이 가장 근접하였다. 유전체 sheet의 수축율과 자성체 sheet의 수축율이 같아도 두 sheet를 적층하여 동시에 소성하면 각 sheet의 유기결합제량과 분포, 분말충진

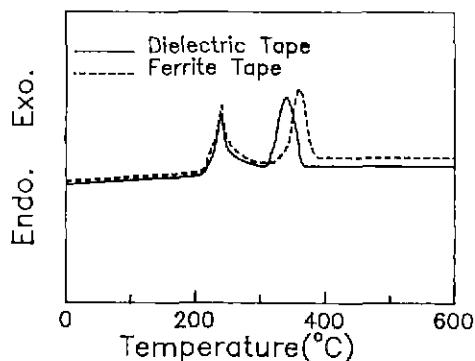


Fig. 12. DTA curves of ferrite and dielectric tape.

정도, 밀도차이, air volume, pore size 차이 등에 따라 초기 결합제 재가과정에서 유기결합제의 이동으로 인한 delamination과 휘어짐이 발생할 수 있다^[12,13].

Fig. 12는 본 실험에서 사용한 유전체 sheet와 자성체 sheet를 대기 중에서 1 $^\circ\text{C}/\text{min}$ 의 승온속도로 600 $^\circ\text{C}$ 까지 시차열분석(DTA)한 결과이다. 200 $^\circ\text{C}$ 부근에서 나타나는 첫번째 발열 peak는 잔류 용매나 분산제, 가소제 등의 분해로 인한 것[14]이고 두번째 peak는 아크릴계 유기결합제의 분해에 해당되는 것이라고 생각된다. 첫번째 나타나는 발열 peak의 경우 자성체와 유전체 sheet의 차이가 없으나 두번째 발열 peak의 경우는 유전체 sheet의 경우 315 $^\circ\text{C}$ 정도에서 분해하기 시작하여 370 $^\circ\text{C}$ 정도에서 분해가 완료되지만 자성체 sheet의 경우 약 321 $^\circ\text{C}$ 정도에서 분해하기 시작하여 390 $^\circ\text{C}$ 정도에서 분해가 완료된다. 이와 같이 분해온도가 다른 것은 유기결합제의 분포나 모세관압에 의한 액상의 이동, air volume의 차이에 기인하는 것으로서 이것이 초기에 발생하는 휘어짐의 원인이라고 생각된다.

Fig. 13에 유기결합제 함량을 60 wt%로 고정하고 900 $^\circ\text{C}$ 에서 2시간 소결하였을 경우 lamination압에 따른 자성체 부분과 유전체 부분의 수축율 변화를 나타내었다. 250 kg/cm² 정도의 압력에서 두 sheet 사이의 수축율 차이가 비슷하다. 이것은 lamination압과 유기결합제 함량 등의 외부조건에 의해서 유전체 부분과 자성체 부분의 모세관압에 의한 정수압의 차이가 최소화됨에 의한 것이라 생각된다.

Fig. 14에 자성체의 유기결합제 함량을 60 wt%로 고정시킨 다음 유전체 sheet의 유기결합제 함량을 변화시키면서 900 $^\circ\text{C}$ 2시간 소결하였을 경우 수축율의 변화를 나타내었다. 자성체 sheet는 750 $^\circ\text{C}$ /2시간 하소시킨 분말을 사용하였고 유전체 sheet는 0.5 μm TiO_2 분말을 사

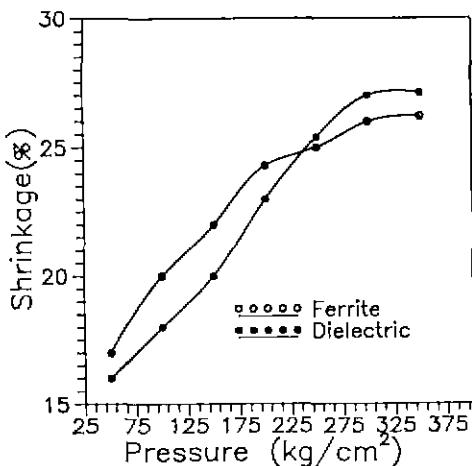


Fig. 13. Shrinkage curves of ferrite and dielectric parts as a function of laminating pressure.

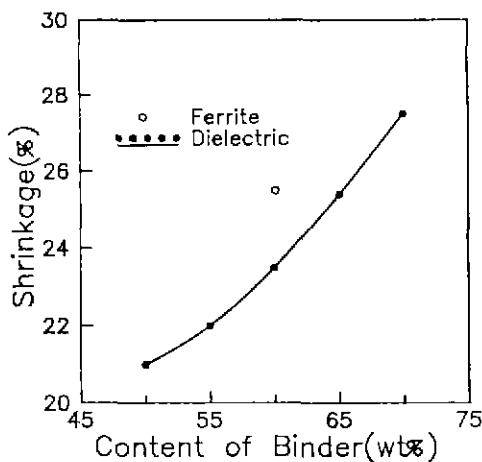


Fig. 14. Shrinkage curves of ferrite and dielectric parts as a function of binder content.

용하여 775°C/2시간 하소시킨 분말을 이용하였다. 유전체 sheet의 유기결합제 함량이 65 wt%일 때 자성체 부분과 비슷한 수축율을 나타내었다.

이상의 결과에 근거하여 유전체 부분은 0.5 μm의 평균입경을 갖는 96 wt% TiO₂에 3 wt% CuO와 미량의 첨가물(MnO₂, SiO₂)을 가하여 750°C, 2시간 하소한 후 65 wt%의 유기결합제와 혼합하여 sheet를 제조하였고 자성체 부분은 49.5 mol% Fe₂O₃, 20.5 mol% ZnO, 20 mol% NiO 그리고 10 mol% CuO의 조성을 775°C, 2시간 하소한 후 60 wt%의 유기결합제와 혼합하여 제조하였다. Fig. 15는 이 두 sheet를 동시적층한 칩 LC 필터에서 L 및 C part 계면에서 상호 확산되는 양상을 관찰하기 위해

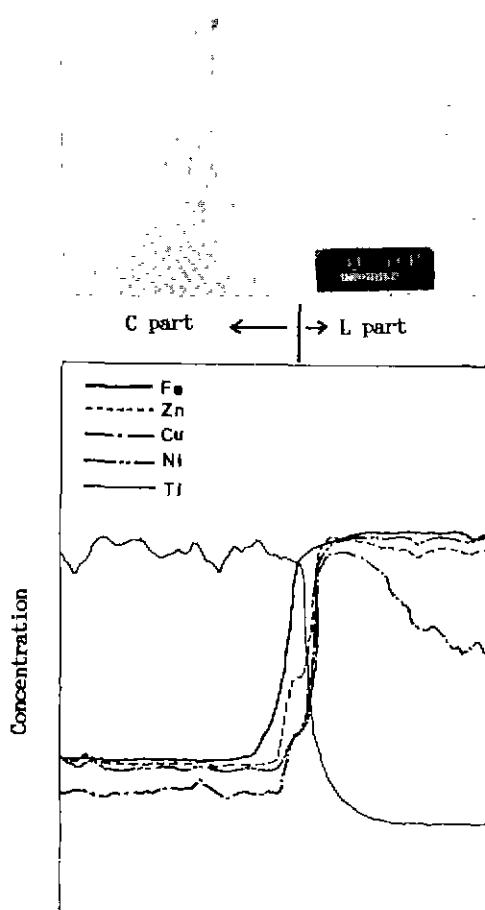


Fig. 15. SEM and WDS results at the interface of sintered body.

SEM과 WDS(wavelength dispersive X-ray spectroscopy)를 조사한 결과이다. 수축율 차이에 의한 계면에서의 균열, delamination은 보이지 않으며 휘어짐없이 동시 소성이 가능하였다. 그리고 WDS 방법을 이용하여 L 및 C part 주위로 line scanning한 결과 L part의 Fe, Ni, Zn 원소와 C part의 주성분인 Ti원소의 상호 확산을 거의 없는 것으로 확인되었다.

4. 결 론

유전체 부분과 자성체 부분의 소결수축율 차이는 조성에 따라 달라지며 조성이 고정되면 출발물질의 입경

이나 하소온도, 유기결합제 함량 등에 의해 영향을 받는다.

유전체 sheet는 0.5 μm의 평균입경을 갖는 96 wt% TiO₂에 3 wt% CuO와 미량의 첨가물(MnO₂, SiO₂)을 첨가하여 750°C, 2시간 하소한 후 65 wt%의 유기결합제와 혼합하여 제조하였다. 자성체 sheet는 49.5 mol% Fe₂O₃, 20.5 mol% ZnO, 20 mol% NiO 그리고 10 mol% CuO의 조성을 775°C, 2시간 하소한 후 60 wt%의 유기결합제와 혼합하여 제조하였다. 각 sheet를 250 kg/cm² 압력으로 적층한 다음 900°C, 2시간으로 동시 소성하여 휘어짐이 없이 복합 적층 칠 LC 필터를 제조할 수 있었다.

REFERENCES

1. Takashi Negate, "Trend of Surface Mounting Components and Mounting Technologies," *National Technical Report*, 35(3), 222-230 (1989).
2. Takeshi Nomura, "Topics of R & D About Surface Mount Devices in Japan," 신소재-1990 심포지움-파인 세라믹스, KIST.
3. TDK, "LC 복합부품," 실용신안 공보, 39958 (1988).
4. TDK, "Composite Multilayer Chip Component," (1990).
5. Chun Dong and H. Kent Bowen, "Hot Stage of Bubble Formation During Binder Burn-Out," *J. Am. Ceram. Soc.*, 72(6), 1082-1087 (1989).
6. F.G. Brockman and K.E. Matteson, "Nickel-Zinc Ferrite: II. Preparation and Properties of Stoichiometric 32 NiO/68 ZnO Ferrite," *J. Am. Ceram. Soc.*, 54(4), 180-183 (1971).
7. A. Globus, "Some Physical Consideration About the Domain Wall Size Theory of Magnetization Mechanism," International Conference on Ferrite 2, C1-1-C 1-15 (1977).
8. Ken Ishino and Yoshikazu Narumiya, "Development of Magnetic Ferrite; Control and Application of Loss," *Am. Ceram. Bull.*, 66(10), 1469-1474 (1987).
9. J.G.M. DE Lau, "High-frequency Properties of Ni-Zn-Co Ferrites in Relation to Iron Content and Microstructure," International Conference on Ferrite, 2 C1-17-C1-22 (1977).
10. Paul Calvert and Michal Cima, "Theoretical Models for Binder Burnout," *J. Am. Ceram. Soc.*, 73(3), 575-579 (1990).
11. Michal J.C. Ima, et al., "Binder Distribution in Ceramic Greenware During Thermolysis," *J. Am. Ceram. Soc.*, 72(7), 1192-1199 (1989).
12. H. Verweij, et al., "Reaction-Controlled Binder Burnout of Ceramic Multilayer Capacitors," *J. Am. Ceram. Soc.*, 73(2), 226-231 (1990).
13. T.T. Chou, "Fluid Flow Model for Ceramic Tape Casting," *J. Am. Ceram. Soc.*, 70(6), C280-C282 (1987).