

적층 칩 인덕터에 관한 연구

(Study on Multilayer Chip Inductor)

金 敬 龍*, 李 琮 揆*, 金 旺 燮*, 崔 煥**

(Kyung Young Kim, Jong Kyu Lee, Wang Sup Kim, and Hwan Choi)

要 約

Ni-Zn-Cu ferrite를 이용하여 저온에서 소결이 가능하며 자기적 특성이 우수한 적층 칩 인덕터를 제조하였다.

49.5mol% Fe₂O₃, 20.5mol% ZnO, 20mol% NiO 그리고 10mol% CuO의 조성으로 혼합한 후 Doctor Blade 방법을 이용하여 두께 60~100 μ m의 페라이트 테이프를 제조하였다. 100% Ag 전극을 silk screen 방법으로 인쇄한 후 250kg/cm²의 압력으로 적층한 다음 900°C, 2시간 소결하여 적층 칩 인덕터를 제조하였다.

1MHz에서 코일용 내부전극을 5회 권선하였을 때 4.9 μ H, 10회 권선 한 경우 15 μ H, 15회 권선 한 경우 24 μ H의 인덕턴스 값을 얻었다.

Abstract

Multi-layered chip inductors were prepared with good magnetic properties by sintering Ni-Zn-Cu ferrites at a lower temperature.

A slurry with 49.5mol% Fe₂O₃, 20.5mol% ZnO, 20mol% NiO and 10mol% CuO was cast into tapes with 60-100 μ m of thickness with a doctor blade techniques. The tapes were screen-printed with 100% silver electrodes, layered and pressed at 250kg/cm², and then sintered at 900°C for 2h. Inductance with internal electrodes printed 5, 10, and 15 turns showed 4.9, 15 and 24 μ H, respectively, at 1MHz.

I. 서 론

오늘날 컴퓨터 산업, 전자통신산업등에 사용되는 주요부품은 전자회로의 집적화, 고성능화에 대응하기 위하여 소형화 및 칩(chip)화 되고 있으며 이를 수용하기 위하여 표면 실장기술(SMT)이 이용되고 있다^[1]

현재 생산되고 있는 SMT를 이용한 각종 적층형 부품들로는 적층 바리스타, 적층 압전소자, 적층 칩인덕터 등이 있다^[2,3] 그러나 칩 부품이 소형화됨에 따라 작업성의 한계, 기관의 도체 패턴이나 부품간격에 의한 고밀도화의 한계, soldering시의 세라믹 칩 부품의 균열등의 문제점 등이 발생하게 된다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 복수개의 소자 또는 회로를 one-package화한 복합 부품들이 개발되고 있다. 이 방법은 복합 부품을 고밀도화 함으로써 극소화, 박형화, 부품의 고기능화가 가능하고 원가를 절감시킬 수 있는 잇점이 있다. 현재 사용되고 있는 복합 적층 칩 부품은 IFT, LC trap, LC 필터 등 여러 종류가 있다.^[4]

*正會員, 韓國科學技術研究院 세라믹스研究團
(Division of Ceramics, KIST)

**正會員, 韓國쌍신電氣株式會社
(Korea Sang Shin Elec. Co., Ltd.)

接受日字: 1991年 9月 10日

여러 전자부품들이 칩화되고 표면 실장기술이 계속 발전되었음에도 불구하고 비디오통, 튜너용, 밴드패스 필터, high pass filter, 딜레이 라인등에 응용되는 인덕터 부품을 칩화하는 것은 어려운 문제였다. 왜냐하면 인덕터는 내부에 도체를 권선해야 하기 때문에 전자기적 특성저하 없이 칩의 크기를 감소시키는 것이 어려웠고 인덕터를 고밀도 package에 장착하기 위해서는 금속피막을 사용하여 magnetic flux의 누출을 막아야 했기 때문이다.

인덕터를 칩화하기 위하여 극복해야 하는 다른 문제점은 내부 전극 재료에 관한 것이다. 일반적인 페라이트의 소결온도는 1200~1300°C 정도이기 때문에 내부전극으로서 Ag-Pd나 Ag-Pt와 같은 고가의 재료를 사용해야 하고 Ag-Pd계에서는 이에 부가하여 내부전극 물질인 Pd의 산화에 따른 문제점이 발생하기 때문이다.

본 연구에서는 코일 형성용 내부 전극재료로 100% Ag를 사용할 수 있도록 저온소결 페라이트 소재를 개발하고 이를 이용하여 적층 칩 인덕터(5mm×5mm)를 제조하여 특성을 측정하였다.

II. 실험방법

(15~25mol%) NiO, (15.5~30.5mol%) ZnO, (5~15mol%) CuO페라이트를 제조하여 조성변화에 의한 자기적 특성 변화를 측정하였다. 고순도 시약을 사용하여 각 조성에 맞추어 평량한 다음 에탄올을 사용하여 24시간 습식혼합을 한 후 건조하고 750, 775, 800, 850°C에서 2시간 하소 하였다. 하소한 분말을 24시간 습식으로 재분쇄한 후 1000kg/cm²의 압력으로 pellet 형태로 성형하고 900, 925, 950°C에서 각각 2시간 소결하여 밀도, 흡수율 및 자기적 특성 변화를 측정하였다.

하소 후 재분쇄한 분말과 1,1,1 Trichloroethane 용매와 아크릴계 바인더를 사용하여 슬러리를 제조하고, 24시간 동안 충분히 숙성시킨 다음 60~100μm의 두께로 테입 캐스팅(Tape casting)하여 green sheet를 제조하였다. sheet를 충분히 건조한후 100% Ag 전극을 사용하여 내부전극을 인쇄하고 적층 하였다. 도체 인쇄의 주 목적은 각 층의 도체가 코일상으로 이어져 회전하게 하는 것이다. 자세한 성형순서를 그림 1에 나타내었다. 먼저 페라이트 green sheet ①에 터미널용 도체를 ②와 같이 인쇄하고 ③과 같이 1/2을 페라이트 green sheet로 덮은 다음 85°C에서

250kg/cm²의 압력을 가하여 적층한다. 적층후 노출되어 있는 도체에 연결하여 다음 도체 패턴을 ④와 같이 인쇄하고 나머지 1/2을 ⑤와 같이 페라이트 green sheet로 덮고 동일한 방법으로 가열압착시킨다. 원하는 횟수만큼 ③~⑥ 공정을 반복한 후 외곽용 페라이트 green sheet ⑦로 적층하고 원하는 크기로 절단한 다음 ⑧과 같이 적층계의 양 끝단에 외부전극을 형성시켰다.

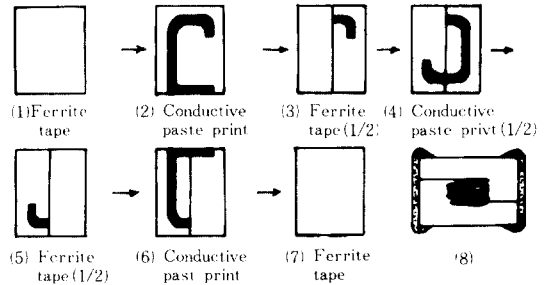


그림 1. 적층형 칩 인덕터의 내부도체 패턴 형성 공정

Fig. 1. Producing process of the internal conductive pattern for multilayer chip inductor.

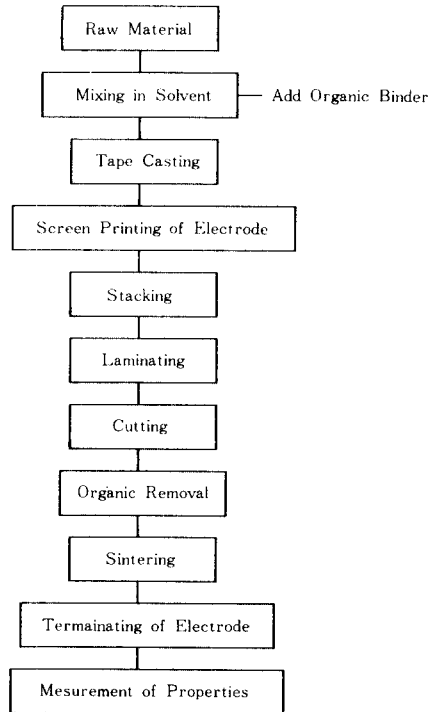


그림 2. 실험 공정 순서도

Fig. 2. Flow diagram of experimental procedure.

완성된 성형체를 대기분위기에서 1°C/min의 승온 속도로 400°C까지 승온하고 10시간 동안 유지하여 탈지 (binder removal) 시킨 후 900°C에서 2시간 소결하여 자기적 특성을 측정하였다. 그림 2에 본 실험의 전체공정도를 나타내었다.

III. 결과 및 고찰

1. Fe₂O₃ 함량에 따른 영향

페라이트의 투자율에 영향을 미치는 입경, 입계 및 기공등의 구조적 인자는 소결조건에 의해 결정된다. 보통 Ni-Zn계 페라이트나 Mn-Zn계 페라이트의 경우 1200°C 이상의 소결온도에서만 고투자율의 치밀한 구조를 얻을 수 있다. 그러나, 본 실험에서는 100% Ag-paste를 내부전극으로 사용할 수 있도록 하기 위하여 Ni-Cu-Zn계 페라이트를 사용하여 900°C 정도에서 소결이 되도록 하였다. 소결이 진행되는 동안 입상장과 치밀화가 동시에 일어나는데 치밀화 속도는 일반적으로 입자크기에 반비례한다.

그림 3에는 900, 925, 950°C에서 각각 2시간 소결한 경우 20.5mol% ZnO, 19~20mol% NiO, 10mol% CuO의 조성에서 Fe₂O₃ 함량에 따른 상대밀도와 흡수율을 나타내었다. MFe₂O₄ (M은 2가 금속이온)의 화학양론적 조성보다 Fe₂O₃가 과잉인 경우 소결이 충분히 진행되지 않아 950°C 소결의 경우에도 흡수율이 0.2% 정도이지만 Fe₂O₃가 부족한 조성인 49.5mole% 이하에서는 900°C 소결에서 치밀화가 완전히 진행되었음을 알 수 있다. 일반적으로 Ni-Zn계 페라이트에서 Fe₂O₃ 부족 페라이트가 Fe₂O₃ 과량 페라이트보다 소결온도가 200°C 정도 낮게 나타나는데¹⁵⁾ Ni-Cu

-Zn계 페라이트에서 같은 경향을 보이고 있다.

그림 4에는 Fe₂O₃ 함량에 따른 전기 비저항의 변화를 나타내었다. Fe₂O₃가 49.5mol%일때 전기 비저항이 가장 높게 나타났다. Fe₂O₃가 48.5mol%일때는 산소 vacancy에 의한 전기전도 기구가 발생하고, 과다 Fe₂O₃가 존재하면 ferric iron을 ferrous로 환원시켜 cation vacancies에 의한 전도 기구가 발생하기 때문이라고 생각된다.^{16,17)}

그림 5에 Fe₂O₃ 함량에 따른 초기투자율과 μ_0Q 값의 변화를 나타내었다. 49.5mol% Fe₂O₃의 경우에 초기투자율과 μ_0Q 값이 최대치를 보인다. 49.5mol% Fe₂O₃ 이상의 조성에서 초기투자율과 μ_0Q 값이 감소하는 현상은 소결이 완전히 일어나지 않아 발생하는 기공의 반자계 효과 (demagnetization effect) 때문이고

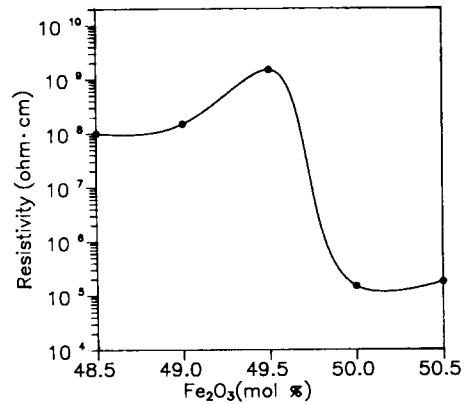


그림 4. 전기비저항과 Fe₂O₃ 양과의 관계
Fig. 4. Electrical resistivity as a function of Fe₂O₃ content.

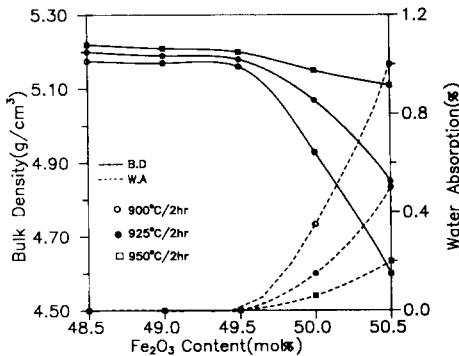


그림 3. Ni-Cu-Zn페라이트의 밀도 및 흡수율과 Fe₂O₃ 양과의 관계
Fig. 3. Density and water absorption of Ni-Cu-Zn ferrite as a function of Fe₂O₃ content.

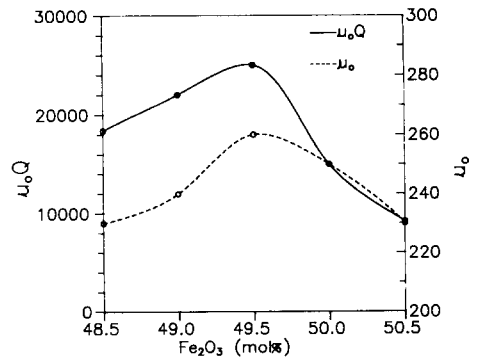


그림 5. 1 MHz에서 측정된 초기투자율 및 μ_0Q 값과 Fe₂O₃ 양과의 관계
Fig. 5. Initial permeability and μ_0Q as a function of Fe₂O₃ content at 1 MHz.

그 이상의 조성에서 초기투자율과 μ_0Q 값이 감소하는 현상은 electron diffusion에 의한 비저항 감소와 관계가 있다고 생각된다.¹⁾ 이상을 고려하여 볼 때 49.5mol% Fe₂O₃의 경우에 초기투자율과 μ_0Q 값이 최대치를 보이는 것은 미세구조의 치밀화에 의한 효과와 Fe₂O₃부족에 의한 전기 비저항의 증가 때문인 것으로 생각된다.

2. CuO 함량에 따른 영향

그림 6에 CuO 함량에 따른 Ni-Cu-Zn 페라이트의 상대밀도와 흡수율을 나타내었다. CuO의 첨가량이 증가함에 따라 소결밀도가 증가하는 경향을 보이는데 이것은 CuO가 다른 산화물과 반응하여 액상을 형성시켜 소결을 촉진시키기 때문이라고 생각된다.

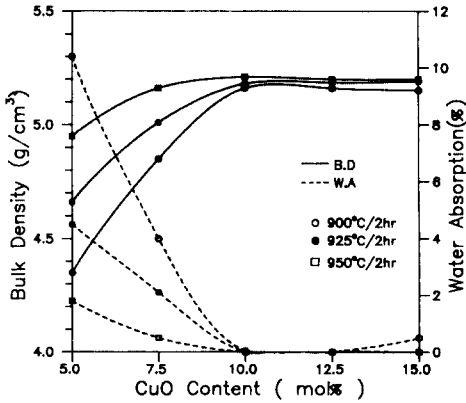


그림 6. Ni-Cu-Zn 페라이트의 밀도 및 흡수율과 CuO 양과의 관계

Fig. 6. Density and water absorption of Ni-Cu-Zn ferrite as a function of CuO content.

그림 7에는 49.5mol% Fe₂O₃, 20.5mol% ZnO, 15~20mol% NiO의 조성에 CuO를 5, 10, 15mol% 첨가하였을 때의 초기 투자율과 μ_0Q 값의 변화를 소결온도에 따라 나타내었다. 소결온도가 높아짐에 따라 입경의 증가에 의해 투자율은 증가하나 Q값은 감소하는 경향을 보인다. 이것은 입경이 증가함에 따라 자력이 차지하는 분율이 증가하게 되어 손실이 커지기 때문이며 또한 와전류 손실이 증가하기 때문이다.¹⁾ 5mol% CuO를 첨가한 경우에는 아직 소결이 완전히 진행되지 않았기 때문에 잔류 기공이 많이 존재하여 투자율이 낮고 손실값도 크게 나타났다고 생각된다. 10mol% CuO에서는 투자율과 Q값이 최대치를 보인다. CuO 함량이 15mol%로 증가하면 CuO가 과량이 되어 B

site로의 치환량이 증가하고 B site에 들어가는 Ni²⁺ 이온의 감소로 포화자화가 감소하여 투자율이 줄어들게 된다. CuO 함량이 증가할수록 손실값이 증가하는 것은 Cu²⁺ ↔ Cu⁺의 electron movement가 증가하여 eddy current loss가 증가하기 때문이라고 생각된다.

그림 8에는 Ni-Cu-Zn 페라이트에서 CuO 함량을 변화시킨 경우의 온도변화에 따른 인덕턴스의 변화율을 나타내었다. 여기서 L은 상온에서의 인덕턴스 값이며 ΔL 은 각 측정온도에서의 값과 상온값의 차이이다. 칩 인덕터 조성으로 선택하기 위해서는 유전체의 온도계수와 counter matching 될 수 있는 자성체의 인덕턴스변화율이 작은 양의 값을 가져야 한다. 5mol% CuO를 첨가한 경우에는 온도증가에 따라 인덕턴스가 감소하였으며 10mol% CuO에서 6%, 15mol% CuO에서는 15%의 인덕턴스 변화를 보여 CuO의 첨가량은 10mol%가 가장 적당하다고 판단하였다.

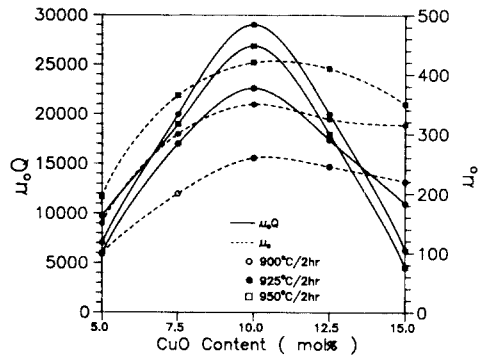


그림 7. 1 MHz에서 측정된 초기투자율 및 μ_0Q 값과 CuO 양과의 관계

Fig. 7. Initial permeability and μ_0Q as a function of CuO content at 1MHz.

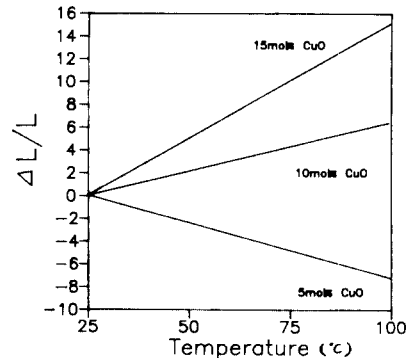


그림 8. Ni-Cu-Zn 페라이트의 온도특성과 CuO 양과의 관계

Fig. 8. Temperature characteristics of Ni-Cu-Zn ferrite as a function of CuO content.

3. Ni/Zn 함량에 따른 영향

그림 9에는 Ni-Cu-Zn 페라이트 조성에서 Fe_2O_3 와 CuO를 각각 49.5mol%와 10mol%로 고정시킨 경우의 자기적 성질을 Ni/Zn 비에 따라 나타내었다. ZnO 함량이 증가함에 따라 투자율은 증가하고 자기 손실은 감소하게 된다. B site에 들어간다고 보고된 Ni^{2+} 이온이 증가하면 Ni^{2+} 가 비자성 이온인 Zn^{2+} 이온이 차지하고 있던 A site에 일부 들어가게 되어 포화자화가 감소하여 투자율의 감소를 일으킨다!¹⁰⁾

그림 10에 Fe_2O_3 와 CuO를 각각 49.5mol%와 10mol%로 고정하고 Ni/Zn비를 변화시켰을 때의 자기적 성질 변화를 온도에 따라 나타내었다. ZnO 함량이 증가할수록 큐리온도가 감소하였다. 이것은 Zn^{2+} 이온과 같은 비자성 이온이 많을수록 A, B site 간에 초교환작용이 감소하여 A, B site간의 자기 모멘트의 반평행 관계가 점차 약해지기 때문이라고 생각된다.

그림 11에는 Fe_2O_3 와 CuO를 각각 49.5mol%와 10mol%로 고정하고 Ni/Zn 비를 변화시켰을 때의 주파수 변화에 따른 자기적 성질의 변화를 나타내었다. ZnO 함량이 많을 수록 공진 주파수가 저주파 대역으로 이동함을 보여 주고 있다. B site에 들어가는 Ni^{2+} 이온이 감소하면 A site에 들어가는 비자성 이온인 Zn^{2+} 이온의 과량으로 포화 자화가 높아져 투자율이 증가하게 되고 자벽 공진 주파수가 감소하여 보다 낮은 주파수에서 분산이 시작된다.

그림 12에 49.5mol% Fe_2O_3 , 20.5mol% ZnO, 20mol% NiO, 10mol% CuO의 페라이트 조성으로 만든 칩 인덕터 성분을 그림 1과 같은 방법으로 인쇄하고 적층하여 900°C 2시간 소결하였을 때의 주파수 변화에 따른 인덕턴스 변화를 나타내었다. 코일용 내부전극

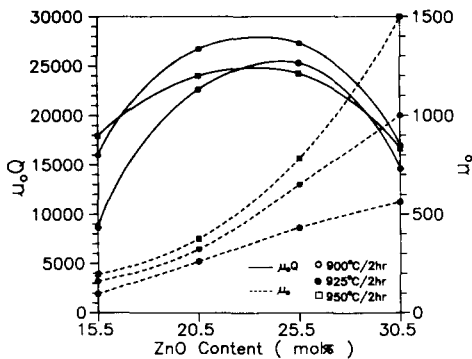


그림 9. 1 MHz에서 측정된 Ni-Cu-Zn 페라이트의 초기투자율 및 μ_0Q 값과 Fe_2O_3 양과의관계
Fig. 9. Initial permeability and μ_0Q of Ni-Cu-Zn ferrite as a function of ZnO content at 1MHz.

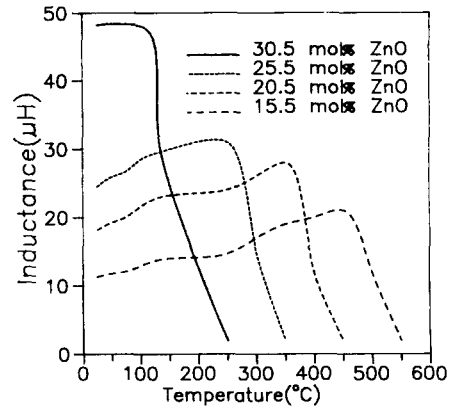


그림 10. Ni-Cu-Zn 페라이트의 온도특성과 ZnO양과의 관계
Fig. 10. Temperature characteristics of Ni-Cu-Zn ferrite as a function of ZnO content.

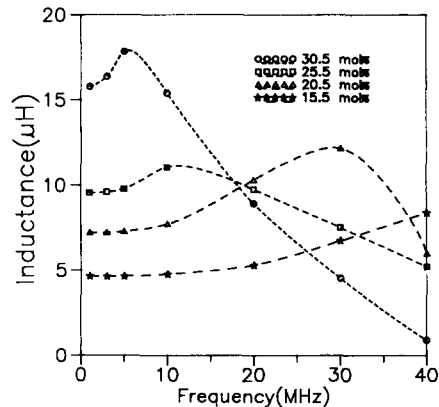


그림 11. Ni-Cu-Zn 페라이트의 주파수 특성과 ZnO 양과의 관계
Fig. 11. Frequency characteristics of Ni-Cu-Zn ferrite as a function of ZnO content.

을 5회 권선하였을 경우에는 1MHz에서 약 4.9 μ H 정도의 인덕턴스 값을 보였고 10회 권선한 경우에는 15 μ H, 15회 권선한 경우에는 24 μ H의 값을 얻었다.

그림 13은 위의 조성에서의 온도변화에 따른 인덕턴스의 변화를 1MHz에서 측정된 것이다. 코일용 내부전극의 회전수가 많을 수록 온도변화에 따른 인덕턴스의 변화가 크게 나타났다. 이는 Ag 내부전극의 회전수가 증가함에 따라 Ag 전극과 페라이트 소지 사이의 반응이 증가되기 때문이라고 생각된다.

그림 14에는 위의 조성에서 주파수변화에 대한 Q값의 변화를 나타내었다. 인덕턴스값이 높을수록 Q값이 낮아지며 공진 주파수도 낮아지고 있음을 알수 있다. 이는 코일 형성용 도전재료인 Ag가 적층회수가

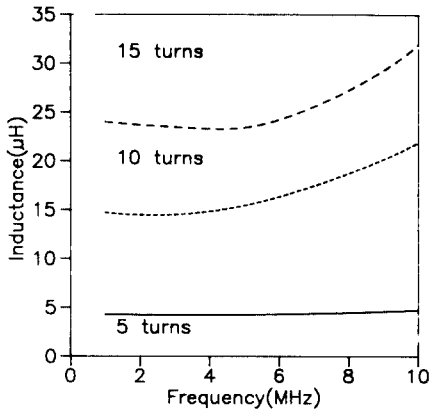


그림 12. 칩 인덕터의 내부회로 권선수와 인덕턴스의 관계

Fig. 12. Inductance of chip inductor as a function of number of turns of internal conductor.

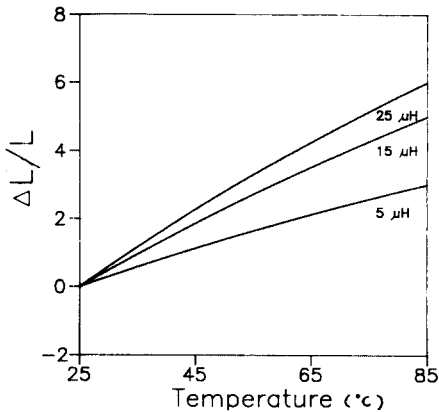


그림 13. 칩 인덕터의 온도특성

Fig. 13. Temperature characteristics of chip inductor.

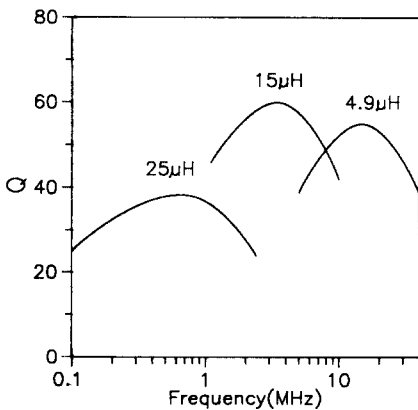


그림 14. 칩 인덕터의 주파수 특성

Fig. 14. Frequency characteristics of chip inductor.

많아짐에 따라 magnetic shielding 효과가 떨어지기 때문이라고 생각된다.

V. 결론

이상과 같은 실험에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 자성체 조성으로 저온소결용 Ni-Cu-Zn계 페라이트를 사용하였으며 49.5mol% Fe₂O₃일때 가장 좋은 자기적 특성을 얻었다.
2. CuO 함량에 따른 영향은 CuO 함량이 증가함에 따라 소결이 촉진되며 10mol% CuO에서 가장 자기적 특성이 우수하였다.
3. Ni-Cu-Zn계 페라이트에서 ZnO 함량이 많을 수록 투자율은 높아지나 Q값, 온도특성 및 주파수특성은 저하되었다.
4. 49.5mol% Fe₂O₃, 20.5mol% ZnO, 20mol% NiO, 10mol% CuO의 페라이트 조성으로 제조한 칩 인덕터를 인쇄, 적층하여 900°C 2시간 소결하였을 때의 주파수 변화에 대한 인덕턴스는 1MHz에서 5회 권선 하였을때는 4.9μH, 10회 권선한 경우는 15μH, 15회 권선한 경우에는 24μH를 얻었다.
5. 위의 조성으로 제조한 적층 칩 인덕터의 경우 인덕턴스의 값이 높을수록 Q값은 낮아지고 공진주파수도 낮아진다.

參 考 文 獻

- [1] Takashi Negate, "Trend of surface mounting components and mounting technologies", *National Technical Report*, vol. 35, no. 3, pp. 222-230, 1989.
- [2] Takeshi Nomura, "Topics of R&D about surface mount devices in Japan", 신소재-1990, 심포지움-파인세라믹스, KIST, 1990.
- [3] TDK, "LC 복합부품", 실용신안 공보39958, 1988.
- [4] TDK, "Composite multilayer chip component", 1990.
- [5] Ken Ishino and Yoshikazu Narumiya, "Development of magnetic ferrite: control and application of loss", *Ceramic Bulletin*, vol 66, no. 10, pp. 1469-1474, 1987.
- [6] 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, 1977.
- [7] Aaron P. Greifer Yoshinao Nakada, "Preparation and properties of low-loss ferrites", *J. Appl. Phys.*, vol. 32, no. 3 383S, 1961.

[8] F.G. Brockman and K.E. Matteson, "Nickel-Zinc Ferrites: I, Effect of composition on the magnetic properties of a Nickel-Zinc-(Cobalt) ferrite", *J. Am. Cer. Soc.*, vol. 53, no. 9, pp. 517, 1970.

[9] T.Y. Tseng and J.C. Lin, "Microstructure and properties of Ni-Zn ferrite sintered from slip casting colloiddally prepared particles", *IEEE Trans. on Magnetics*, vol. 25, no. 6, pp. 4405-08, 1989.

[10] 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.*, vol. 54, no. 4, pp. 180-83, 1971.

著 者 紹 介



崔煥 (正會員)
 1959年 8月 31日生. 1986年 명지대학교 전자공학과 학사. 1988年 2月~현재 한국 쌍신전기(주) 연구소 주임. 주관심분야 고주파용 세라믹 유전체 제조및 측정, 고주파 전자부품 개발 등임.

金敬龍 (正會員) 第28卷 第8號 A編 參照
 현재 한국과학기술연구원 세라믹스연구부 근무중.

李琮揆 (正會員) 第28卷 第8號 A編 參照
 현재 한국과학기술연구원 세라믹스연구부 근무중.

金旺夔 (正會員) 第28卷 第8號 A編 參照
 현재 고려대학교 공과대학 재료공학과 박사과정 재학중.