

유기산염 열분해법에 의한 Cu-Ni-Zn 페라이트의 전자파 흡수 특성

정재우 · 이완재

한양대학교 공학대학 금속재료공학과

경기도 안산시 대학동 396, 425-791

(1995년 8월 20일 받음, 1995년 12월 8일 최종수정본 받음)

페라이트는 높은 자기적 손실을 이용하여 전자파 흡수체로 사용하고 있다. 전자파 흡수체는 미세조직이 균일하고 미세할수록 흡수특성이 향상된다. 유기산염 열분해법으로 합성한 분말을 사용하여 Cu-Ni-Zn 페라이트를 제조하였다. 복소유전율과 복소투자율은 밀도가 높고, 입자의 크기가 미세할수록 상승하였다. 페라이트의 정합두께는 소결온도가 높을수록 얇아졌다. Cu-Ni-Zn 페라이트의 전자파 흡수능은 정합두께가 6.75mm 일때 160MHz 부터 640MHz 까지의 주파수에서 20dB 이상의 값이었다.

I. 서 론

전자파 흡수체는 전파암실 (anechoic chamber), 전자파장애 (EMI) 방지, 안테나 복사패턴증진등의 다양한 용도로 응용되고 있으며, 손실 기구에 따라 도전손실형, 유전손실형과 자성손실형으로 분류하고 있다¹⁻³⁾.

저자들은 자성손실형 전자파 흡수체중 대표적인 Cu-Ni-Zn 페라이트 분말을 유기산염 열분해법으로 합성하여 조성이 균일하고, 미세한 분말을 얻을수 있다고 보고한 바 있다⁴⁾. 열분해를 통하여 얻어진 분말의 하소 후 평균 입자 크기는 약 0.3 μ m로 불밀하여 혼합한 분말보다 미세하다. 그리고 하소를 하지 않아도 스피넬상이 약 50% 정도 형성되어 있어서, 하소온도를 불밀법으로 제조한 것보다 낮출수 있는 장점이 있으며, 높은 밀도와 균일하고 미세한 미세조직을 갖는 페라이트 소결체를 얻을 수 있다^{4,5)}.

전자파 흡수특성 (electromagnetic wave absorbing property)인 흡수능 (absorption), 혹은 감쇠능 (attenuation)을 측정하는 방법에는 직접 측정법과 간접 측정법이 있다^{6,7)}. 직접측정법은 반사계수, 정재파비, 반사 전력측정법등과 같이 전파암실에서 피시험체에 전자파를 조사 (transmit)하여 흡수능을 측정하는 방법이다^{3,8)}. 반면에 간접 측정법은 각 파라미터를 이용하여 재료정수인 복소유전율 (ϵ_r), 복소투자율 (μ_r) 값을 측정한 후 흡수능을 계산하는 방법으로 정재파법, 공진법, 섭동법, 투과반사법등이 있다^{9,10)}.

본 연구에서는 유기산염 열분해법으로 합성한 페라이트 분말을 사용하여 조성이 균일하고, 입자가 미세한 소결체의 전자파 흡수특성을 간접측정법인 투과반사법으로 복소유전율 (ϵ_r), 복소투자율 (μ_r), loss tangent ($\tan \delta$)를

측정하여 주파수와 흡수능과의 관계를 조사 검토하였다.

II. 실험방법

유기산염 열분해법으로 Cu-Ni-Zn 페라이트 분말을 합성⁴⁾ 하고 하소한 분말을 외경 9mm, 내경 3.5mm인 동축형 금형에서 100MPa로 성형하였다. 소결은 1100~1250 $^{\circ}$ C에서 1시간동안 대기중에서 행하였다. 소결한 시편은 동축형 샘플 홀더 (coaxial sample holder)에 맞게 외경 7mm, 내경 3.04mm의 동축형 시편으로 가공하였다. 전자파 흡수특성은 network analyzer (HP 8720C)를 사용하여 측정하였다. 가공한 시편을 샘플 홀더 (Maury MMC-2653H)에 삽입한 후 S-parameter인 S_{11} 과 S_{21} 을 측정한 후 재료정수 측정 프로그램 (material measurement software ; HP 85071B)으로 페라이트의 재료정수인 복소투자율과 복소유전율을 구하였다. 복소유전율 (ϵ_r)과 복소투자율 (μ_r) 값으로부터 loss tangent ($\tan \delta$)를 구하였다. 전자파의 흡수능 (absorption ; attenuation) α 는 식 (1)을 이용하여 계산하였고, 페라이트의 정합두께는 식 (1)과 (2)를 이용하여 시행오차법 (trial error method)으로 구하였다¹³⁻¹⁵⁾.

$$\alpha (dB) = 20 \log | (Z-1) / (Z+1) | \quad (1)$$

여기서, 임피던스는

$$Z = \sqrt{\mu_r / \epsilon_r} \times \tanh (j\omega \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \times d) \quad (2)$$

$$\omega (\text{각속도}) = \lambda / 2\pi$$

d = 페라이트의 두께이다.

III. 결과 및 고찰

유기산염 열분해법으로 합성하여 다른 방법보다 경제적이고, 손쉽게 미세한 합성된 분말을 얻을 수 있었다. 하소를 하지 않아도 불밀과 하소를 한 시편보다 더 치밀하고 균일한 미세조직이 얻어졌으며, 최적의 하소조건은 700℃에서 1시간동안 행하는 것이었다. 최대 상대밀도는 1250℃에서 소결한 시편이 93%였으며, 미세조직은 1200℃에서 소결한 시편의 평균 입자 크기 (mean grain size)는 약 5 μm 으로 균일한 입자분포를 나타내고 있다.

소결한 시편을 가공한 후 반사계수와 투과계수인 S_{11} 과 S_{21} 를 측정 한 후 재료정수 측정 프로그램으로 구한 복소유전율을 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1의 (a)는 상대유전율의 실수 값이고, (b)는 허수 값이다. 측정 주파수인 50MHz로부터 2GHz까지 실수 값은 큰 변화없이 약

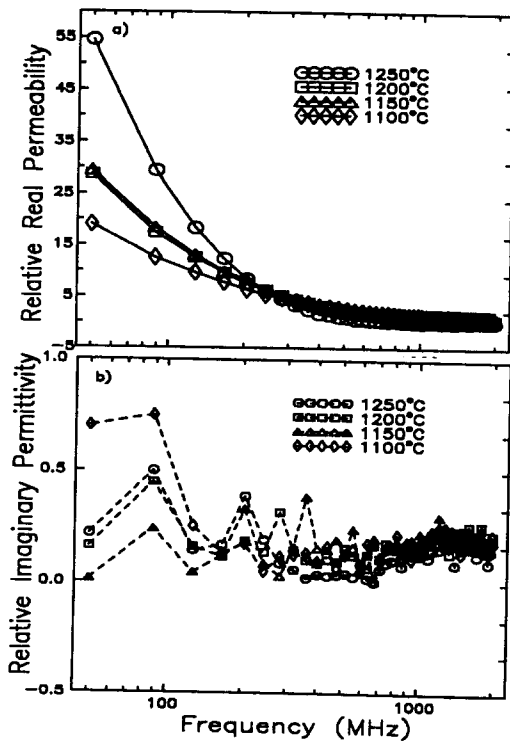


Fig. 1. Relative permittivity versus frequency on Cu-Ni-Zn ferrite by thermal decomposition of organic acid salt. (a) real permittivity, (b) imaginary permittivity.

7.2에서 8.8 정도이며, 허수 값은 0에 가까운 값을 나타내고 있다. 1100℃에서 소결하여 상대밀도가 81%인 시편은 8.3 내외이고, 1150℃에서 소결하여 상대밀도가 87%인 시편은 150MHz까지는 약 8이지만, 200MHz 이상에서는 8.5로 가장 높다. 1200℃에서 소결하여 상대밀도가 88%인 시편은 7.7 내외로 가장 낮으며, 1250℃에서 소결하여 상대밀도가 93%인 시편은 주파수가 증가하면 조금 낮아지지만, 약 8.4 정도이다. 유전율의 허수값은 100MHz 미만에서 약간 큰 1 정도의 값을 갖지만, 대부분 0이기 때문에 유전손실은 거의 없다고 생각된다.

Fig. 2는 복소투자율을 측정 주파수에 따라 나타낸 그래프이며, Fig. 2의 (a)는 상대투자율의 실수값이고, (b)는 허수값이다. 복소투자율은 소결온도에 따라 큰 차이를 나타내고 있고, 상대밀도가 81%인 것은 측정 주파수인 50MHz에서 2GHz까지의 범위에서 허수값이 15에서 4로 주파수가 증가할수록 낮아지고 있으며, 실수값은 19에서 0으로 낮아진다. 상대밀도가 87%인 시편은

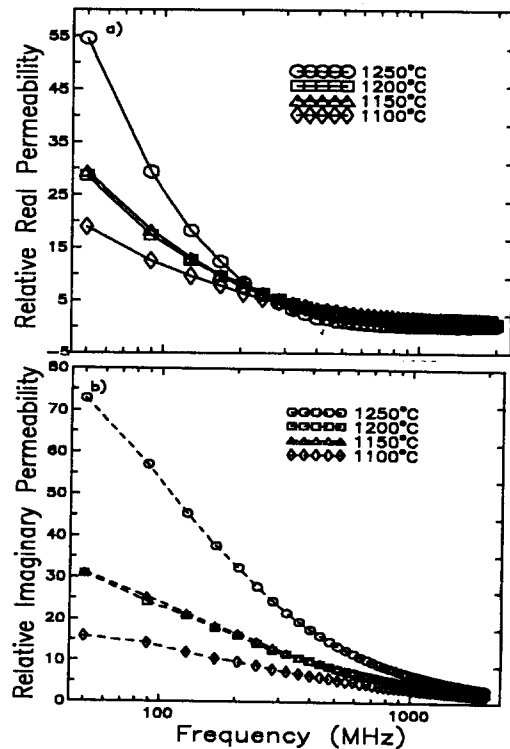


Fig. 2. Relative permeability versus frequency on Cu-Ni-Zn ferrite by thermal decomposition of organic acid salt. (a) real permeability, (b) imaginary permeability.

50MHz에서 볼 때 81%인 것보다 투자율의 허수 값은 16 정도가 높은 약 31이고, 실수값은 10 정도가 높아진 29이다. 상대밀도가 88%인 시편은 87%인 것과 2% 내외의 값을 차이를 가질뿐 거의 같다. 상대밀도가 93%인 시편은 50MHz에서 74의 허수값을 나타내며, 81%인 시편보다 약 5배가 높은 값으로 상당히 높아졌고, 실수값도 55로 약 2.8배가 높아졌다. 허수부와 실수부의 차이는 약 20으로 가장 크게 나타났다. 모든 시편에서의 공진주파수 f_r 은 50 MHz 미만이며, 81%인 경우가 가장 높은 f_r 을 갖고, 87%, 88% 그리고 93%인 상대밀도 갖는 순서로 낮아질 것으로 생각된다. 페라이트의 경우에 고주파에서 나타나는 자성손실은 잔류손실이 추가되며, 잔류손실 중에서도 자기 공명(magnetic resonance)에 의한 손실이 크게 좌우하고 있다. 공진주파수 f_r 과 정합주파수 f_m 은 비례적인 관계를 갖고 있으므로 정합이 일어나는 주파수는 93%의 상대 밀도를 갖는 것이 가장 낮고, 81%의 경우가 가장 높을 것으로 생각된다. 투자율은 소결체의 밀도와 밀접한 관계를 나타내고 있다. 50MHz에서 비교해 볼 때 상대밀도가 81%인 것은 약 19, 87%는 약 29, 88%는 약 28.5, 93%인 것은 54로 일정한 비례관계를 나타내고 있다.

Fig. 3에는 각 온도에서 소결한 시편에 대하여 주파수의 변화에 따른 loss tangent 값을 나타내었다. Fig. 1의 상대유전율의 허수부와 실수부의 비와 Fig. 2의 상대투자율의 허수부와 실수부의 비의 합 즉, $\tan \delta = \epsilon'' / \epsilon' + \mu'' / \mu'$ 이 loss tangent이지만, 페라이트의 경우는 상대 유전율의 허수부가 0에 가까우므로 일반적으로 상대투자율의 허수부와 실수부의 비인 $\tan \delta = \mu'' / \mu'$ ⁽¹⁶⁾가 loss

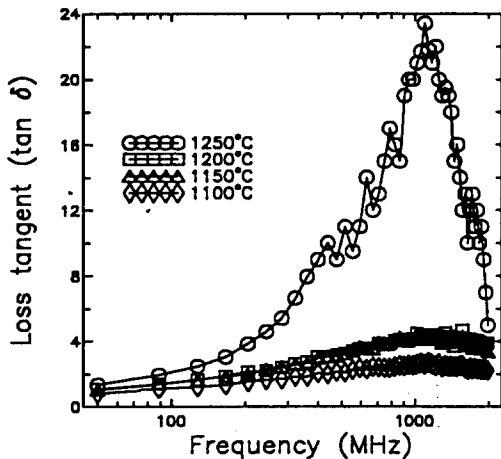


Fig. 3. Loss tangent versus frequency on Cu-Ni-Zn ferrite by thermal decomposition of organic acid salt.

tangent가 된다. loss tangent 값은 50MHz부터 2GHz 까지 측정 주파수 범위에서 1 이상이 얻어졌으며, 1250 °C에서 소결한 시편의 경우에는 100MHz부터 급격히 증가하여 1GHz 근방에서 약 23.8로 최고값이 얻어지고, 그 이상의 주파수에서는 급격히 감소하였다. loss tangent 값이 1 이상이므로 측정 주파수대역에서 전자파가 많이 흡수될 것으로 생각된다.

소결온도변화에 대한 정합두께를 Fig. 4에 나타내었

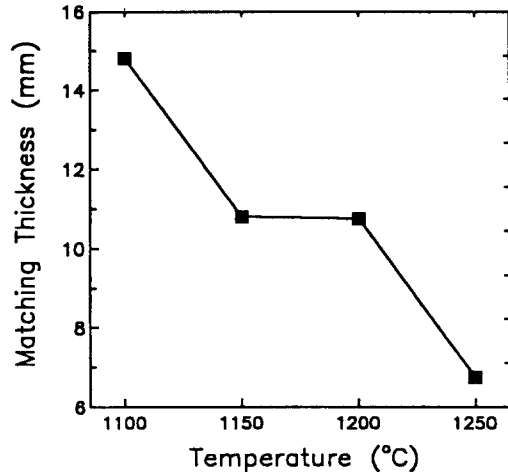


Fig. 4. Matching thickness versus temperature on Cu-Ni-Zn ferrite by thermal decomposition of organic acid salt.

다. 전자파 흡수체가 정합이 되는 조건 즉 전자파를 흡수체가 완전히 흡수하기 위한 이상적인 조건에서는 식 (2)에서 임피던스(Z)가 1이 되어야 하며, Musal 등⁽¹⁵⁾이 제시한 것과 같이 정합 조건 그래프에서 재료정수가 결정되면 정합 주파수와 정합두께를 구할 수 있으며, 식 (1)과 (2)를 이용한 시행오차법에 의해 정합두께와 정합주파수를 구하였다. 소결온도가 1100 °C로 상대밀도가 81%인 것은 정합두께는 14.7mm이고, 소결온도가 1150 °C로 상대밀도가 87%인 것은 10.80mm, 1200 °C로 상대밀도가 88%는 10.75mm, 1250 °C로 상대밀도가 93%인 것은 6.75mm이었다. 치밀화될수록 전자파 흡수체의 정합두께는 줄어들고 있다. 반면에 정합주파수는 81%의 상대밀도를 갖는 것은 360MHz이고, 87%와 88%는 515MHz, 93%인 것은 476MHz이었다. 1200 °C에서 소결하여 상대밀도가 88%일 때까지는 정합주파수와 정합두께의 관계가 반비례의 관계를 갖고 있지만, 소결온도가 1250 °C이고, 상대밀도가 93%일 때는 오히려 낮아졌다.

정합주파수가 낮아지면, 파장이 길어지기 때문에 두께가 두꺼워지는 것이 일반적인 경향이다. 다시 표현하면 정합 두께가 줄어들면, 정합주파수가 높아지는 것이다. 정합두께를 줄이기 위하여는 소결체의 밀도를 높여 주어야 하고, 정합두께가 얇을수록 경량화와 경제성 등에 유리하지만 정합두께가 얇아지면 주파수가 높아지기 때문에 큰 의미가 없게 된다. 그러나 상대밀도가 93%인 경우와 같이 정합두께와 정합주파수가 동시에 줄어들면 경량화와 경제성 등의 관점에서 볼때 큰 장점이 있다.

1250℃에서 소결한 시편의 정합두께인 6.75mm를 대입하여 각 소결온도별 흡수능을 Fig. 5에 나타내었다. 소결온도가 높아질수록 흡수능은 점차 높아지고 있으나, 1250℃에서 소결한 경우에는 1GHz까지는 가장 높은 값을 나타내었다. 1150℃와 1200℃에서 소결한 경우는 측정 주파수가 높아지면 흡수능이 높아져 1GHz 이상에서는 약 15dB 정도에 이르고 있다. 이러한 흡수능은 정합된 조건이 아니므로 페라이트의 손실기구인 자기 공명 등에 의한 손실이 충분하지 않고 임피던스의 불일치(mismatch)에 의해 흡수능이 감소하였다고 생각된다.

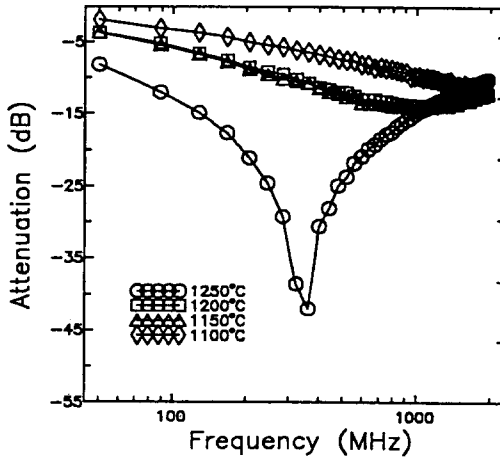


Fig. 5. Attenuation versus frequency on Cu-Ni-Zn ferrite by thermal decomposition of organic acid salt. Thickness is 6.75mm.

Fig. 6은 Fig. 4의 각 소결온도별 정합두께(1100℃ : 14.7mm, 1150℃, 1200℃ : 10.7mm, 1250℃ : 6.75mm)에 대한 흡수능을 나타내었다. 상대밀도가 81%인 시편은 입사되는 전자파에너지의 99%가 흡수되는 20dB의 흡수능¹⁷⁾이 나타나는 주파수 대역이 390MHz에서 670MHz까지로 흡수대역폭은 280MHz이며, 87%는 320MHz에서 710MHz로 흡수대역폭은 390MHz이다.

상대밀도가 88%인 것은 320MHz에서 790MHz로 흡수대역폭은 470MHz이고, 93%의 상대밀도인 것은 200MHz에서 630MHz로 430MHz의 흡수대역폭을 갖고 있다. 흡수 대역폭이 가장 넓은 것은 1200℃에서 소결하여 상대밀도가 88%인 시편이다. 흡수대역 폭은 소결온도가 증가할수록 넓어지고 있으나, 흡수능은 약간 감소하고 있다. 소결온도가 증가하면 치밀화됨에 따라 흡수대역의 폭이 넓어지지만, 미세조직에서 소결온도가 1200℃인 시편의 평균 입자 크기는 약 5μm이고, 1250℃는 약 15μm으로 커졌으므로, 비정상적인 입자의 성장(abnormal grain growth)가 일어나 있기 때문에 흡수능이 다소 낮아졌다고 생각된다⁴⁾. 1250℃에서 소결한 시편의 정합 두께가 6.75mm이고 다른 소결온도의 시편이 정합두께가 10mm 이상인 점을 감안하면, 1250℃의 시편은 얇은 정합두께로 더 넓은 흡수대역 폭을 가진다고 생각된다. 또한 일반 불밀에 의한 분쇄 후 동일한 제조공정으로 제조된 전자파 흡수체중 1250℃에서 소결한 시편은 20dB 이상의 흡수능이 나타나는 주파수 대역은 300MHz부터 700MHz까지이며, 최대 흡수능은 570MHz에서 27dB이었다⁵⁾. 유기산 열분해법으로 합성한 분말을 사용한 경우가 좀 더 낮은 주파수대역에서 흡수가 크게 일어나고, 흡수대역폭도 약 180MHz 정도 더 넓게 나타나며, 약 15dB 정도 더 높은 전자파흡수능이 얻어졌다.

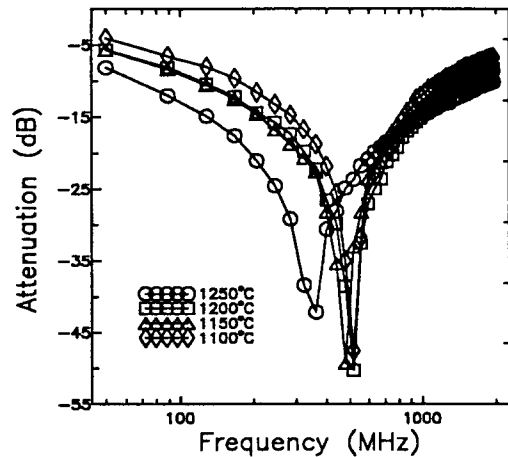


Fig. 6. Attenuation versus frequency on Cu-Ni-Zn ferrite by thermal decomposition of organic acid salt. (Matching thickness)

IV. 결 론

유기산염 열분해법으로 합성한 Cu-Ni-Zn 페라이트

분말을 사용하여 1100~1250℃에서 소결체를 제조한 후 network analyzer로 반사계수와 투과계수를 측정하여 재료정수와 전자파 흡수특성을 조사하고 소결온도와의 관계로 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 복소유전율과 복소투자율은 소결온도가 상승하여 치밀화될수록 증가하였다.
- 2) 1250℃에서 소결하여 상대밀도가 93%인 시편이 정합 두께가 6.75mm로 가장 얇으며, 10dB 이상의 흡수능이 얻어지는 주파수 범위가 70MHz에서 2000MHz으로 가장 넓은 흡수대역폭을 갖고 있다.
- 3) 유기산염 열분해법으로 제조된 것이 불질법으로 혼합한 것보다 약 230MHz 정도 더 넓은 흡수대역폭과 2mm 정도 얇은 정합두께를 갖고 있고, 소결온도도 낮으므로 전자파 흡수체를 제조하는 방법으로 더 우수하였다.

참 고 문 헌

[1] Luc B. Gravelle and Perry F. Wilson : IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, **34**(2), 109(1992).

[2] R. Laroussi and G. I. Costache : IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, **35**(2), 178 (1993).

[3] 清水 康敬, 杉浦 行, 石野 健, 乾 哲司 : 電磁波の吸收と遮蔽, 日經技術圖書株式會社, (1989) pp. 4.

[4] 정 재우, 이 완재 : 한국분말야금학회지, **2**(1), 29 (1995).

[5] 정 재우, 이 완재 : 한국재료학회지, **4** 512(1995).

[6] 關 康雄 : 電波吸收體 と 電波暗室, シ-エムシ-, (1985) pp. 192.

[7] Mohammed N. Afsar, James R. Birch and R. N. Clarke : Proceedings of The IEEE **74**(1), 183(1986).

[8] 內藤 喜之 : 電波吸收體, 新OHM文庫, 東京(1987) pp. 2, 56.

[9] S. Tofani, A. R. Ondrejka and M. Kanda : IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, **33**(3), 234(1991).

[10] Peter I. Somlo : IEEE Trans. Instrumentation and Measurement, **IM-42**(2), 213(1993).

[11] William B. Weir : Proceedings of The IEEE **62**(1), 33(1974).

[12] A. M. Nicolson and G. F. Ross : IEEE Trans. Instrumentation and Measurement, **IM-19**(4), 377(1970).

[13] D. H. Kang, J. Y. Shin and J. H. Oh : Proceeding of 6th ICF., 1335, (1992).

[14] Eugene F. Knott : IEEE Trans. Antennas and Propagation, **AP-27**(5), 698(1979).

[15] H. M. Musal, Jr. and H. T. Hahn : IEEE Trans. Magnetics, **25**(5), 3851 (1989).

[16] Allan W. Scott : Understanding Microwaves, Wiley 1st edition, New York (1993) pp. 55.

[17] Henry W. Ott : Noise Reduction Techniques in Electronic System, Wiley 2nd edition, New York (1989) pp. 162, 166.

The Electromagnetic Wave Absorption Characteristics of Cu-Ni-Zn Ferrite by Thermal Decomposition of Organic Acid Salt

Jae-Woo Joung and Wan-Jae Lee

Department of Metallurgy & Materials Science

Hanyang University, Ansan 425-791, KOREA

(Received 20 August 1995, in final form 8 December 1995)

The electromagnetic interference is prevented by the high magnetic loss of the ferrite. The absorbing property of electromagnetic wave could be improved by the ferrite that has a finer and more uniform microstructure. The thermal decomposition of organic acid salt provided the uniform composition and fine powder. The absorbing properties of electromagnetic wave were evaluated by the relative complex permeability, permittivity, and the attenuation which is calculated from the results of network analyzer. The permeability and permittivity were increased with increase of the density and with decrease of the grain size. The matching thickness could be reduced with increasing sintered temperature. The attenuation of the Cu-Ni-Zn ferrite showed over 20dB when the matching thickness and the matching frequency range were 6.75mm and from 160MHz to 640MHz, respectively.