

論文94-31A-6-17

Mn_{0.05}Mg_{1.9-2x}Fe_{4x}O_{4+y} + 2wt% Al₂O₃ 조성내 Fe량 변화에 따른 마이크로파 손실 특성 연구

(A study on the properties of microwave loss of ferrite with various Fe contents in Mn_{0.05}Mg_{1.9-2x}Fe_{4x}O_{4+y} + 2wt% Al₂O₃)

金盛再*, 鄭明得*

(Seung Jae Kim and Myung Deuk Jeong)

要約

D.C 비저항이 마이크로파 페라이트의 고주파 손실 특성에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 비저항의 차이가 각각 100배인 Mn_{0.05}Mg_{0.95-x}Fe_{2x}O_{4+y} + 2wt% Al₂O₃ (x=0.45, 0.50, 0.55) 조성의 시편을 제조하여 마이크로파 투자율(μ), 유전율(ϵ) 그리고 자기 공명 선폭(ΔH)을 조사한 결과 자성 손실 및 유전손실은 비저항에 반비례하였으며 그리고 시료내 Fe 증가에 따라 ΔH 도 증가하였는데 이는 이방성 자기장 증가에 주로 기인하는 것으로 나타났다.

Abstract

In order to study the effect of D.C resistivity of sample on electromagnetic loss of ferrite at microwave frequency, samples were prepared for having differences in resistivity of an order of two. Microwave permeability(μ), permittivity(ϵ) and effective linewidth(ΔH_{eff}), and ferromagnetic resonance linewidth(ΔH) were characterized. $\tan\delta$, $\tan\delta$ and ΔH_{eff} were decreased with increasing the resistivity and ΔH was increased with increasing Fe concentration, which was due to an increase of anisotropy magnetic field(=H_a).

1. 서론

일반적으로 마이크로파 페라이트에 이용되고 있는 Mg-Mn 페라이트 조성은 Fe 결핍 조성이 적당한 것으로 보고되고 있다.^[1] Fe결핍 조성을 선택하게 되는 가장 근본적인 이유는 Fe²⁺이온 생성의 억제일 것

으로 사료된다. 페라이트내 Fe²⁺ 이온은 스핀넬 결정 구조내 팔면체 내부 자리에의 선호도를 가지고 있으며 이때 이웃 팔면체 내부에 있는 Fe³⁺ 이온과 small polar hopping 기구에 의해 시편내 전도 특성의 근원이 된다.^[2] 이러한 전도성은 유전 특성, 자성 특성 그리고 ohmic 손실등에 결정적으로 영향을 주게 된다. 또한 Mg페라이트에 있어서 Fe²⁺ 이온의 생성은 결정자기 이방성 특성에 많은 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다.^[3] 페라이트가 마이크로파 자성체로서 각광을 받을 수 있는 가장 기본적인 이유는 높은 비저항 특성에 있다고 할 수 있다. 비저항이 낮은 경우

* 正會員, 國防科學研究所

(Agency for Defense Development)

接受日字 : 1993年 9月 27日

마이크로파 소자 응용시 마이크로파의 반사 손실의 원인이 될 수 있고 시편내 와전류 발생으로 인한 ohmic 손실때문에 시편내 열을 발생시키게 되어 재료의 특성을 저하시키게 된다. 이러한 비저항 특성은 병렬 R-C 및 R-L 등 회로에서 유전율 및 투자율의 loss tangent에 많은 영향을 주며 사용 주파수가 증가함에 따라 그 손실 특성 또한 증가하는 것으로 알려져 있다.^{4,5} 마이크로파 페라이트의 응용은 크게 isolator, circulator, resonator, phase shifter 등 많은 분야에서 찾아 볼 수 있다. 이 중 phase shifter 설계시 주요 고려 사항으로는 페라이트의 컷수와 재료의 여러가지 물리적 특성($4\pi M_s$, $\tan\delta$, $\tan\delta$)등을 들 수 있다. 한편 이러한 상기 물리적 특성을 통해 모의적으로 변위량 및 손실 특성을 구하는 연구가 이루어지고 있다.^{16,17} 이때 손실과 관련된 주요 인자는 $\tan\delta$, $\tan\delta$, conductor 손실로 구분되고 있는데 문헌 6에 따르면 3가지 전체 손실 0.8 [dB] 중 자성 손실이 0.5 [dB] 로 자성 손실 제어가 변위기 재료 개발에 있어서 손실 관련 제어 인자 중 가장 중요함을 알 수 있다. 본 연구에서는 마이크로파 페라이트 조성 설정에 있어서 스피넬 페라이트 기본 분자식 $Me^{2+}O.Fe^{3+}_2O_3$ 에서 Fe를 화학 양론, 부족, 과잉 조성을 선택하여 비저항이 현격하게 차이가 있는 페라이트 소결체를 제작하여 비저항 특성이 마이크로파에서의 유전 손실과 자성 손실에 미치는 영향을 조사하기 위하여 마이크로파 유전 상수, 영 자기장에서의 마이크로파 투자율, 비공명 손실 특성(off resonance) ΔH_{eff} 그리고 공명에서의 손실 특성인 ΔH 을 조사하였다.

II. 실험 및 측정방법

1. 시료 제조

Mn_{0.05}Mg_{1.9-2x}Fe_{4x}O_{4y} (x=0.45, 0.5, 0.55)+2wt% Al₂O₃ 조성의 페라이트를 일반 세라믹 방법으로 소결하여 아래 도표와 같은 특성의 시료를 제조하였다.

2. 측정

1) 마이크로파 유전율^{18,9)}

마이크로파 유전특성 측정은 9.3 [GHz] 에서 공진기 삽동방법을 사용하였다. 공진기는 아이리스(iris) 커플링된 TE103 구형도파관으로 2000 이상의 Q값이 요구된다. 공진기내에서 시료의 위치는 전자파의 magnetic field가 최소이고 electric field가 최대인 곳에 놓아야 한다. 시료는 rod 형태로서 직경

이 1.5 [mm] 인 것을 사용하였다. 측정원리는 HP8720 Network Analyzer를 사용하여 시료가 없을때의 공진주파수와 Q값을 측정하고 그 다음 공진기에 시료를 삽입한후의 공진주파수 및 Q값을 측정한다. 이 두값의 변화를 이용하여 유전율의 실수부와 허수부를 계산한다.

표 1. 본 연구에서 사용된 시편의 물리적 특성
Table 1. The Physical properties of samples used in this study.

	x=0.45	0.50	0.55
$4\pi M_s$ [G]	2022	1741	1821
Curie Temp. [°C]	300	350	420
resistivity[Ω·m]	10^5	10^4	10^2
grain size[μm]	20 - 30		
phase	S p i n e l		

2) 마이크로파 투자율¹⁰⁾

마이크로파 투자율 측정은 유전특성 측정법과 마찬가지로 9.3 [GHz] 에서 공진기 삽동방법을 이용하였다. 공진기는 TE₁₀₆ 구형도파관으로 3000 이상의 Q값이었다. 시료는 rod 형태로서 전자파의 electric field가 최소이고 magnetic field가 최대인 곳에 위치시켜야 한다. 측정원리는 유전특성 측정과 유사하다.

3) 강자기 공명 선폭 측정 (ΔH)^{11,12)}

강자기 공명선폭의 측정은 9.3GHz에서 공진기방법을 사용하였다. 공진기는 아이리스(iris) 커플링된 TE₁₀₆ 구형도파관으로 empty cavity의 loaded Q는 3000 이상이었다. 공진기내에서 시료의 위치는 전자파의 electric field가 최소이고 magnetic field가 최대인 곳에 놓아야 하며 시료의 크기는 전자파 파장의 1/4 보다 작아야 한다. 측정에 사용된 시료는 구(sphere)형태로서 직경이 1.5 [mm] 이었다. D.C magnetic field 는 전자파 magnetic field 와 수직되게 공급되며 이때의 선폭은 최대 흡수 power의 1/2 이 되는 자기장의 분리된 두값의 차이로 정의 된다. 측정에 이용된 장비는 LDJ Co.의 D.C B-H analyzer와 HP8720 Network Analyzer 등이다. 아울러 본 측정방법은 Resonance field (H_r) 을 정확하게 측정할 수 있는 장점이 있다.

4) 실효 공명 선폭 측정 (ΔH_{eff})¹³⁾

실효공명 선폭의 측정은 강자기 공명 선폭 측정과 동일한 공진기와 시료를 사용하였다. 시료를 완전히

게 포화시키기 위하여 6000 [Oe] 의 D.C magnetic field를 수 초 [sec] 동안 인가한 다음 Network Analyzer(HP8720)로 전자파 신호의 공진주파수 및 Q 값을 측정하여 투자율의 실수부와 허수부를 계산하여 ΔH_{eff} 를 구하였다.

III. 결과 및 논의

1. 마이크로파 유전 특성

공진기 섭동 원리를 이용하여 9.3 [GHz] 주파수에서 마이크로파 유전 특성을 조성별로 조사한 결과는 그림 1과 같다.

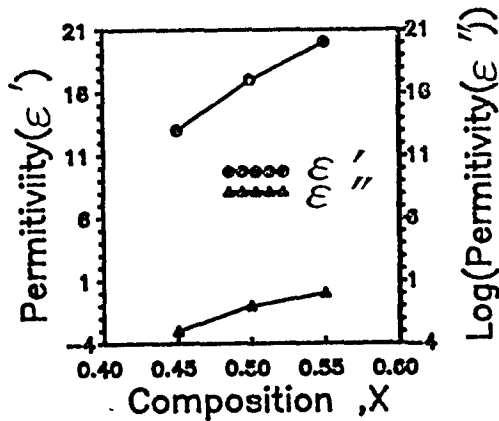


그림 1. $Mn_{0.05}Mg_{1.9-2x}Fe_{4x}O_{4+y} + 2wt\% Al_2O_3$ 조성에서 Fe 변화에 따른 마이크로파 유전율 변화

Fig. 1. Microwave permittivity as a function of composition, x in $Mn_{0.05}Mg_{1.9-2x}Fe_{4x}O_{4+y} + 2wt\% Al_2O_3$.

그림 1에서 Fe가 증가함에 따라서 유전 상수 실수부, ϵ' 및 허수부, ϵ'' 는 모두 증가하는 경향을 보이고 있는데, 특히 $x=0.55$ 손실이 매우 커서 공진기 섭동법에 의해 측정이 불가능하였다. $x=0.45$ 에서는 유전상수의 실수부, ϵ' 및 허수부, ϵ'' 는 각각 12.5 및 10^4 으로서 매우 낮은 유전 손실 특성을 나타내었다. 겉보기 유전 손실은 외부 전기장에 대한 여러가지 손실들의 합으로 나타나게 되는데 특히 본 연구에서는 전도성과 관련된 비저항에 의한 항만을 고려해 보면 소결체내 Fe량 변화에 따른 유전 손실 특성 변화는 다음의 비저항 특성과 관련된 식^[4]에서와 같이 일정 주파수에서 재료내의 비저항 값이 낮아짐에 따라서 ϵ'' 은 증가하게 되어 유전 손실은 증가하게 됨을

알 수 있다.

$$\rho = \frac{1.8 \cdot 10^{12}}{f \epsilon''} \quad (1)$$

본 연구 결과에서 Fe 조성 변화(x가 0.05씩 증가)에 대해 비저항 값은 100 order 정도의 차이로 감소함을 알 수 있었는데 식(1)을 통해 계산을 해보면 시편간의 ϵ'' 차이는 대략 100배 order로서 실제 측정 결과에서 시편간의 차이와 매우 유사함을 알 수 있었다. 따라서 R-L 병렬 등가 회로로부터 도입한 개념이 약 10 [GHz] 주파수의 마이크로파에서도 잘 적용됨을 알 수 있었다.

2. 마이크로파 투자율 특성

공진기 섭동 원리를 이용하여 9.3 [GHz] 주파수에서 마이크로파 투자율 특성을 조성별로 조사한 결과는 그림 2와 같다.

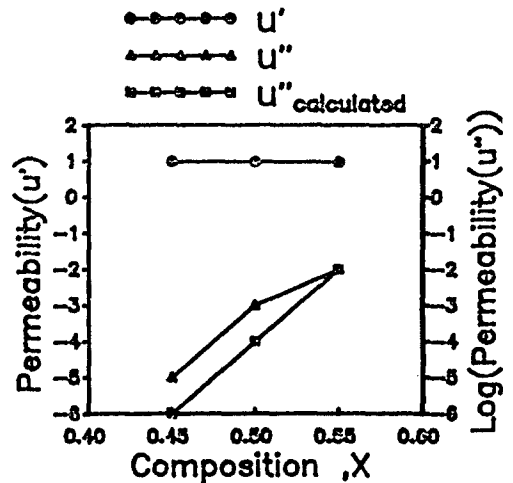


그림 2. $Mn_{0.05}Mg_{1.9-2x}Fe_{4x}O_{4+y} + 2wt\% Al_2O_3$ 조성에서 Fe 변화에 따른 마이크로파 투자율 변화

Fig. 2. permeability as a function of composition, x in $Mn_{0.05}Mg_{1.9-2x}Fe_{4x}O_{4+y} + 2wt\% Al_2O_3$.

그림 2에서와 같이 조성에 관계 없이 투자율의 실수 부분인 μ' 은 거의 1로 나타났다. 따라서 마이크로파에서의 유기되는 자기량은 거의 0에 가까움을 알 수 있다. 그러나 투자율의 손실 부분인 μ'' 은 Fe 증가에 따라 $10^4 \sim 10^2$ 의 범위내에서 변화한다. 조성

변화에 따른 μ'' 변화의 이유에 대해서는 명확하지 않으나 이러한 경향은 비저항의 변화 경향과 관련이 있을 것으로 생각되며, 본 연구 결과에서는 μ'' 과 비저항과의 관계는 반비례하는 것으로 나타났다. Mg-Cu 페라이트 연구 보고 [14] 에서 온도 변화에 따른 자기 이완 시간 및 비저항 변화 실험에서 자성 손실과 관련된 이완 시간의 활성화 에너지는 비저항의 활성화 에너지와 매우 비슷하여 자기 이완 기구는 전자의 확산에 기인할 것이라는 견해를 피력하고 있으나 확실한 결론을 내리지 못하고 있다. 이러한 μ'' 의 비저항 의존성은 향후 많은 연구가 이루어져야 할 부분으로 사료된다.

전도성 매질내에서의 동적 자속은 매질내에서 eddy current를 발생시키게 되어 그결과 eddy current 손실이 발생하게된다. eddy current에 의한 손실을 R-L병렬회로를 고려할 경우 아래식(2)와 같이 생각할 수 있다.

$$\tan \delta_c = R_c / \omega L = \frac{(\pi \mu_o \mu d^2 f)}{(\beta \rho)} \quad (2)$$

여기서, d : cross-sectional demension

ρ : bulk resistivity in [$\Omega \cdot m$]

β : 형상 인자

R_c : eddy current series loss resistance

이며, 식(2)에서 알 수 있는 바와 같이 $\tan \delta_c$ 는 재료의 물리적 특성(μ, ρ, d)과 측정 주파수에 의존함을 알 수 있는데 특히 재료 제조 경우에는 가 매우 결정적인 변수로 작용함을 알 수 있다. 실제 고주파수에서 사용되는 Ni-ferrite 경우 주파수 10^6 [Hz] 에서 측정된 $\tan \delta_c$ 는 10^{-5} 정도로서 보고되고 있는데 [15] 이 값은 형상과 비저항 특성을 감안하여 계산된 값과 잘 일치함을 알 수 있다. 본 연구에서 측정 시편은 Rod 이고 측정 주파수는 약 10 [GHz] 로서 비저항 값에 따라 $\tan \delta_c$ 계산해 보면 근사적으로 $\tan \delta_c = 1/\rho$ 의 값을 가짐을 알 수 있다. 이러한 시편의 비저항에 따른 $\tan \delta_c$ 결과는 측정 결과와 계산 결과 경향 간에는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 따라서 앞의 유전 특성에서와 같이 R-L 병렬 회로로부터 도입한 결과는 마이크로파에서도 적용됨을 알 수 있다.

3. 강자기 공명 반치폭 특성

공명 자기장(ω_r)은 아래식 (3)과 같이 표현된다.

$$H_r = \omega_r / \gamma \quad (3)$$

여기서, γ 는 gyromagnetic ratio 로서 2.8 [MHz/Oe] 이다.

$$H_r = H_{app.} + H_{demag.} + H_{anisotropy} \quad (4)$$

시편의 형상이 구형일경우 $H_{demag.}$ 는 무시가능함으로 $4\pi M_s$ 의 의존성은 배제된다. 식(4)에서 $H_{demag.}$, $H_{anisotropy}$ 를 생략하고 공명자기장을 계산해보면 식(5)와 같다.

$$H_r = \frac{9.3 \times 10^3 [MHz]}{2.8 [MHz / 0e]} = 332 [0e] \quad (5)$$

조성에 따른 공명 자기장은 계산된 값보다 모두 낮은 자기장에서 관찰이 되었는데, 이것은 시편내 결정 자기 이방성에 의한 것으로 사료되며 이러한 결정 자기 이방성은 공명시 손실 특성인 ΔH 에 많은 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. 조성 변화에 따른 ΔH 특성은 Fe가 증가함에 따라 ΔH 도 증가함을 알 수 있으며 이러한 증가 이유는 여러가지로 생각할 수 있는데, 크게 와전류에 의한 기여 항과 결정자기 이방성에 의한 항, 그리고 시편의 기공율에 의한 항으로 구분할 수 있다. 이 중 와전류에 의한 기여 항을 고려해 보면 다음과 같다. 자화의 세차 운동은 맥스웰 방정식에 의해 시편내에서 전기장을 유기시킨다. 이때 시료가 conductivity, σ 를 가지고 있을 경우 전도도는 전체 시편에 걸쳐 eddy current에 의한 에너지 분산, $dW_e/dt = \sigma E^2 dv$ 을 일으키게 된다. 이와 같이 eddy current에 의한 세차 운동의 damping은 세차 운동 에너지의 이완 시간 τ_e 에 의해 식(6)처럼 표현될 수 있다. [4]

$$\Delta H_c = 1 / \gamma \tau_c \quad (6)$$

이때 skin depth는 시편 크기에 비해 충분히 크다고 가정할 수 있기 때문에 시편 전체에 미치는 전자기파는 균일하다고 할 수 있다.

한편 dW/dt 와 공명시 시편내 저장된 에너지 W로부터 식(7)을 얻을 수 있다.

$$1 / \tau_c = (dW / dt) / W \quad (7)$$

식(6), (7)에서 시편이 구형일 경우

$$\Delta H_c = (1/10c^2 \gamma) \sigma W^2 R^2 (M_s / H_r) (8\pi/3)^2 \cong 10^3 \cdot R^2 / \rho \sim 10^4 \cdot R^2 / \rho \quad (8)$$

여기서, σ : Conductivity [$\Omega \cdot cm$]⁻¹, R : 시편

의 반경 [mm], c : 광 속도이다.

식(8)로 부터 ΔH_e 를 조성에 따라 계산해 보면 $x=0.45, 0.5, 0.55$ 에 대해서 모두 1 [Oe] 미만으로서 전체 ΔH 에 대해서 무시할 수 있는 값임을 알 수 있다. 따라서 비저항의 공명에서의 손실 특성인 ΔH 에는 큰 영향이 없음을 알 수 있다. 따라서 와전류에 의한 기여항은 배제 가능함을 알 수 있다. 다음으로는 결정 자기 이방성과 시편의 기공률에 의한 항만을 검토해 볼 수 있는데 Schlomann 이론에 따르면 다결정체의 강자기 공명의 선폭은 식(9)와 같이 이방성 자기장과 시료의 기공률에 의존하는 것으로 알려져 있다.^[16]

$$\Delta H = \frac{8\pi\sqrt{3}(H_a^2)}{21 \cdot 4\pi Ms} + \frac{8}{\sqrt{3}\pi} 4\pi Ms \frac{P_{eff}}{1+P_{eff}} + \Delta H_i \quad (9)$$

여기서, P_{eff} 는 유효 기공율이고 ΔH_i 는 고유 공명 반치폭으로서 매우 적은 값을 가지며 대략 ΔH_{eff} 와 유사한 값을 가지는 것으로 보고되고 있다. 본 연구에서는 ΔH_{eff} 로부터 식(9)을 이용하였다. 외부 자기장 6000 [Oe] 조건에서 측정된 ΔH_{eff} 는 $x=0.45, 0.50, 0.55$ 에 대해서 각각 6, 11, 57로 계산되었다. 조성에 따른 ΔH_{eff} 의 결과에 대한 고찰은 본 논문 내용에서는 다루지 않고 향 후 좀더 많은 고찰을 행한

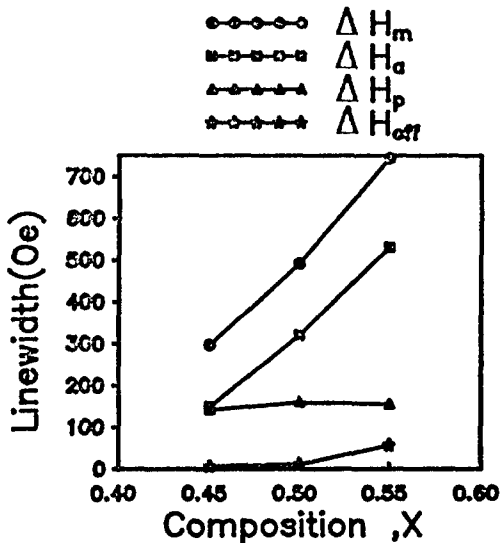


그림 3. $Mn_{0.05}Mg_{1.9-2x}Fe_{4x}O_{4+y} + 2wt\% Al_2O_3$ 조성에서 Fe 변화에 따른 강자기 공명 선폭 변화
 Fig. 3. F.M.R linewidth as a function of composition, x in $Mn_{0.05}Mg_{1.9-2x}Fe_{4x}O_{4+y} + 2wt\% Al_2O_3$.

후 발표할 계획에 있다.

문헌 17의 관계식을 이용하여 H_a, P_{eff} 를 반복법을 이용하여 계산한 후 측정된 선폭을 관련된 항으로 분리 및 정리한 결과는 그림 3과 같다.

이때 계산 과정에서 H_a 는 절대값으로 취하여 계산하였으며 계산의 정확도는 10^{-6} 으로 하였다. 그림 3과 같이 Fe 량이 증가함에 따라 기공률에 의한 선폭의 기여는 150 [Oe] 정도로서 변화가 없는 것을 알 수 있으며 Fe 증가에 따른 이방성 자기장 변화는 매우 크서 $x=0.45, 0.50, 0.55$ 에 대한 이방성 자기장은 각각 390, 536, 704 [Oe]로서 선폭 증가는 대부분 이방성 자기장 항에 의한 것임을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 선폭에 기여하는 여러가지 항들 중에서 조성의 변화에 따른 결정자기 이방성 특성의 변화 항이 가장 지배적임을 알 수 있다. 본 연구 조성에서 Fe 증가에 따른 이방성 자기장의 증가는 Mg 페라이트에서 Fe가 증가함에 따라서 이방성 계수가 증가하는 것과 원인이 유사할 것으로 사료된다.^[3]

IV. 결론

마이크로파 페라이트 $Mn_{0.05}Mg_{1.9-2x}Fe_{4x}O_{4+y}$ ($x=0.45, 0.5, 0.55$) + 2wt% Al_2O_3 조성에서 x를 변화시켜 비저항이 현저히 차이가 있는 시편을 제조하여 마이크로파 손실 특성을 조사한 결과로서 자성 손실 ($\tan\delta_\mu$) 및 유전 손실 ($\tan\delta_\epsilon$)은 비저항에 반비례하였으며, 조성내 Fe 증가에 따라 ΔH_{eff} 및 ΔH 는 현저하게 증가하였으며 이때 ΔH 증가는 주로 조성 변화에 따른 이방성 자기장 증가에 기인하는 것으로 조사되었다. 따라서 마이크로파 페라이트는 화학 양론 조성에 비해 Fe가 부족한 조성 영역이 적합한 것으로 조사되었다.

參考文獻

[1] Landolt-Bornstein, vol.4, p268-269.
 [2] H.I.You et al " Iron-Excess Manganese Ferrite: Electrical conductivity and Cation Distribution ", J. Am. Ceramic Soc. 70(6) p388-392 (1987).
 [3] Rado, G.T et al: Proc. Inst. Elec. Engrs. (London), B104 Suppl. 5, p198(1957).
 [4] J. Verweel, Dr. thesis "Magnetic properties of some ferroxplana single crystals" (1967).
 [5] E. C. Snelling, Soft Ferrite (1988).

- [6] J.L.Allen et al " Computer-Aided Design of Ferrite Devices using Intrinsic Material Parameter". *J. Appl. Phys.* 38, P1399(1967).
- [7] G.P Rodrigue et al " Magnetic Loss in Remanent-State Toroids" *J. Appl. Phys.* 38, P1407(1967).
- [8] S.Chao, "Measurements of Microwave Conductivity and Dielectric Constant by the Cavity Perturbation Method and Their Errors." *IEEE Trans. Microwave Theory Technique*, vol. MTT-33, No.6, pp.519-526, June 1985.
- [9] Anand Parkash, J.K. Vaid, and Abhai Mansingh, "Measurement of Dielectric Parameters at Microwave Frequencies by Cavity Perturbation Technique." *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-27, pp.791-795, Sept. 1979.
- [10] Bob Pildine, "Measuring Complex Permittivity and Permeability at RF and Microwave Frequencies" RF & Microwave Measurement Symposium and Exhibition, HEWLETT PACKARD.
- [11] M.Rojo, J.Marhineda, and j. munoz, "An Automatic Technique for Measuring the Parameters of Kittel Resonance in Ferrite Sphere." accepted for publication in *Measurement Science and Technology*, vol.2, p.141, 1991.
- [12] TECH-BRIEFS "Test for Line Width and Gyromagnetic Ratio" NO.662 Trans-Tech, INC.
- [13] C.E.Patton, "Effective Linewidth due to Porosity and Application in Polycrystallin Yittrium Iron Garnet at 10 GHz." *Physical Review*, vol. 179, No.2, March 1969.
- [14] Seizo Kainuma " Magnetic Hysteresis Loops and Induced Anisotropy in the system Mg_{1-x}Cu_xFe₂O₄" *Japanese J. Appl. Phys.* vol15, No6(1976)9
- [15] J.Smit and H.P.J.Wijn, *Ferrite* (1958).
- [16] E.Schlomann, *J. Phys. Chem. Solids* 6, P242(1958).
- [17] Shao-Bin Liao et al " Measurement of Magnetic Crystalline Anisotropy Constant and Effective Porosity" *Pro. of ICF*, P822(1980).

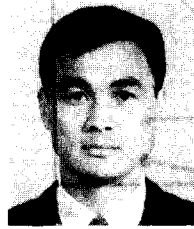
 著者紹介



鄭明得(正會員)

1989年 2月 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1991年 2月 경북대학교 전자공학과 전파전공 졸업(공학석사). 1991年 2月 ~ 현재 국방과학연구소 재직중. 주관심 분야는 마이크로파 공학, 수치

해석, Microwave material measurement 등임.



金盛再(正會員)

1962年 1月 27日生. 1985年 2月 부산대학교 무기재료 공학과 졸업(공학사). 1990年 2月 부산대학교 무기재료 공학과 전자재료 전공 졸업(공학석사). 1993年 8月 부산대학교 무기재료공학과 전자재료

전공 졸업(공학박사). 1990年 11月 ~ 현재 국방과학연구소 재직중. 주관심 분야는 마이크로파 전자재료 및 마이크로파 응용소자 등임.