

임피던스 분석기를 이용한  
Ni-Zn ferrite 투자율의 미세구조 의존성 측정에 관하여

포항공과대학교 재료금속공학과 김 유 승\*, 권 순 주

On measuring the microstructure dependence of the permeability  
of Ni-Zn ferrite with the impedance analyzer

Dept. of material science, POSTECH, Y.S. Kim\*, S.-J. Kwon

### 1. 서론

산화철의 고주파대역 손실 기구는 크게 2가지 공명현상, 즉 자벽공명과 회전자화공명에 기인한다고 알려져 있다<1>. 이러한 공명현상의 추적은 10 MHz 이하의 주파수에서는 Bridge method를 이용한 방법이 유효함이 알려져있고<2>, 그 이상의 주파수 대역에서는 동축도파관을 사용한 Network analyzer의 이용이 보편화 되고 있다.

입방정 산화철의 투자율의 주파수 분산특성은 주로 MHz 대역에서 공명주파수가 존재하므로, 위의 두가지 방법을 혼용하여 분산 스펙트럼을 얻고 있는데 다음의 2가지 문제점을 가지고 있다.

첫째, 두가지 상이한 측정방법에 의한 측정 data의 연결성이 적절하지 않다.

둘째, Network analyzer는 매우 고가의 장비인데다가, 주로 GHz 대역의 측정이 주목적이므로, MHz 대역 측정을 위한 손쉬운 장비가 될 수 없다.

이에, 비교적 저렴한 장비인 임피던스 분석기를 이용하여, 1MHz - 1000MHz 대역의 투자율을 측정도출하는 방법을 모색하여 보았고, 조성 및 미세구조와 공명현상과의 상관관계를 추적해 보았다.

### 2. 실험 방법

#### 2.1 임피던스 분석기를 이용한 측정방법

동축도파관을 이용한 one port 측정방법<3>을 적용하여, 기존의 HP4191A 측정 kit 내의 시편 holder를 새로이 제작하였다.

외경 7mm, 내경 3mm인 toroid형으로 각각 두께(1)가 2mm, 4mm인 2개의 시편을 준비하고 반사계수(reflection coeff.:  $\Gamma$ )를 측정하면 다음과 같은 wave impedance를 구할 수 있다.

$$Z_1 = (1 + \Gamma_1) / (1 - \Gamma_1)$$

$$Z_{21} = (1 + \Gamma_{21}) / (1 - \Gamma_{21})$$

두 wave impedance로부터  $\mu_r / \epsilon_r$ ,  $\mu_r * \epsilon_r$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$\mu_r / \epsilon_r = K^2 = (Z_1 / (2 Y_{21} - Y_{21}))^2$$

$$(Y_1 = 1/Z_1, Y_{21} = 1/Z_{21})$$

$$T = (K - Z_1) / (K + Z_1)$$

$$T_0 = -\Gamma_{\text{air},1}, \Gamma_{\text{air},1} : \text{길이 } l \text{의 air line의 } \Gamma$$

$$\mu_r * \epsilon_r = (\mu_0 * \epsilon_0) - ((\ln T)^2 - (\ln T_0)^2) / (2 * 2W / C * l)^2$$

( W : angular freq., C : light velocity)

$\mu_r / \epsilon_r, \mu_r * \epsilon_r$ 의 곱에서  $\mu_r$ 를 알 수 있고, 재대입해서  $\epsilon_r$ 을 알아낸다.

## 2.2 Sample preparation and Characterization

본 연구에 사용된 시편은 복합형과 소결형으로 대별되며 제조방법은 다음과 같다.

$\text{Ni}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  분말을 고상법으로 X=0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 의 5가지 조성으로 합성하여 출발물질로 하였다. 복합형 시편은 ferrite 분말을 일정량의 고무나 일정량의 납유리와 혼합하여 성형 및 열처리하여 제조하였으며, 소결형 시편은 출발물질을 성형, CIP, 소결하여 제조하였다.

제조된 시료와 시편은 밀도측정, XRD, EPMA(EDS) 성분분석, SEM, VSM, TMA로 특성 평가하였으며, LCR meter(HP4284A: 1KHz-1MHz), Impedance analyzer(HP4191A: 1MHz-1GHz, HP4192A: 1KHz-13MHz), Network analyzer(HP8510B: 45MHz-18GHz)등을 이용하여 투자율 분산 스펙트럼을 구하였다.

## 3. 결과 및 고찰

HP8510B와 HP4191A는 상호 겹치는 45MHz-1000MHz 대역에서 거의 비슷한 재료정수 값을 보여 주고 있어, MHz 대역에 있어 network analyzer를 대신할 수 있음을 확인하였다.

소결체의 경우 공기분위기 X=0.3 조성에서 급격한 grain growth를 관측하였고, 전체적인 밀도 분포는 4.5 - 5.2 g/cc, 입경분포는 소결조건 및 유지시간에 의해 2 - 50  $\mu\text{m}$  로 조절할 수 있었다. 밀도의 증가와 입경의 증가에 따라 투자율이 증가하고 공명주파수가 낮아지는 일반적인 양상의 추적이 가능하였다.

납유리나 silicon 고무와 혼합된 복합체에 있어 산화철함량이 증가할수록 KHz대역 투자율이 증가하는 현상을 관측하였으며, EPMA 분석을 통해 입자의 균일한 분포를 확인하였고, 이로써 입자간의 거리, 즉 입계의 두께 변화에 따른 투자율 변화양상 추적이 가능하였다.

## 4. 참고문헌

- <1> E.C. Snelling, "Soft ferrite", Butterworth co, 2nd ed., p90 (1988)
- <2> 이 상석, "MHz대역에서의 Impedance analyzer를 이용한 Ni-Zn ferrite의 투자율 측정에 관하여", 포항공과대학원 석사학위 논문 (1993)
- <3> H.B. Sequeira, "Extracting  $\mu_r$  and  $\epsilon_r$  of solids from one-port phasor network analyzer measurements", Martin Marietta Lab, Willtron co. manual(1989)