

# PZT/Ferrite 합성 세라믹의 전기적 · 자기적 특성연구

## Electrically and magnetically Characterization for Ferroelectric/Ferrimagnetic ceramics

김장용, 오준학, 문병무,  
(Jang-Yong Kim, Joon-Hak Oh, Byung-Moo Moon)

### Abstract

This thesis deal with ferroelectric and ferrimagnetic materials, PZT/Ferrite ceramics. We conducted test of magnetical and electrical measurement. From this measurement, We obtained tunability and we can control characteristic impedance( $Z_0$ ) from permeability( $\mu$ ) and dielectric constant( $\epsilon$ ) for impedance matching in transmission line.

**Key Words** : PZT( $\text{Pb}[\text{Zr},\text{Ti}]\text{O}_3$ ), VSM(Vibrating Sample Magnetometer),  
 $4\pi\text{Ms}$ (Saturation Magnetization), Tunability

### 1. 서 론

마이크로파 통신은 레이더와 위성통신 등 주로 군사용으로 사용되어 왔으나 최근에는 특히 휴대용 전화기 등과 같은 이동통신 기기에서 기기의 소형화, 고기능화, 저가격화, 전력의 저소비화등이 강력히 요구되고 있으며, 정보통신량의 급격한 증가에 따라 대역통과필터 및 마이크로파 집적회로 등에 고주파용 유전체 세라믹스의 응용이 크게 증가되고 있다.<sup>[1]</sup>

강유전체(ferroelectrics)는 비선형 유전체의 한 종류로서 전계 의존 유전상수(electric-field-dependent dielectric constant)를 가지고 있으며,<sup>[2]</sup> 이러한 성질은 오실레이터(oscillator) 내부의 공동 공진기(cavity resonators) 또는 트랜스미션 라인의 위상 변환장치(phase shifter)등 주파수 조정 마이크로웨이브 소자의 새로운 분야를 발전시키는데 사용되어왔다.

페리자성(ferrimagnetics) 화합물들은 마이크로파 주파수에서 큰 저항과 큰 비등방성 특성을 가지며

마이크로파 신호가 페라이트를 통과할 때 전파방향에 따라 편파 방향이 달라지는 성질을 이용하여 아이솔레이터(isolator), 써큘레이터(circulator), 자이레이터(gyrator)와 같은 지향성 소자제작과 바이어스 자계의 세기를 조절함으로써 인가된 마이크로파 신호와의 상호작용을 제어할 수 있다는 점에서 이상기(phase shifter), 스위치, 가변공진기, 여파기등 다양한 제어소자 제작에 사용되어 왔다.

$$Z_0 \propto \frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{\epsilon}}, \quad v_p \propto \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$$

이와 더불어 튜너블 마이크로웨이브 회로가 발전함에 따라 소자의 특성 임피던스( $Z_0$ )의 큰 변화와 dc 바이어스 인가에 따른 강유전체의 유전상수의 감소에 관심을 가지게 되었다. 소자의 좋지 않은 임피던스 정합은 소자의 전체 삽입손실(total insertion loss)과 반사(reflection)의 증가를 가져온다.<sup>[3]</sup> 이러한 문제점에 대한 새로운 접근방법으로서 강유전체(ferroelectrics)와 페리자성체(ferrimagnetics) 복합 세라믹의 제작을 통해 강유전체의 유전상수(dielectric constant)와 페리자성체의 투자율(permeability)을 조절함으로써 파라미터  $\mu$ 와  $\epsilon$ 을 갖는 매질에서 특성임피던스(characteristic impedance)와 전

고려대학교 전기공학과  
(서울시 성북구 안암동 5가 1,  
Fax : 02-921-2098  
E-mail : jangyongkim@korea.com)

파속도(velocity of wave propagation)를 조정할 수 있도록 한다.

## 2. 실험 방법

PZT/Ferrite 시편 제작을 위해 99.9% 순도의 PZT와 페라이트(Ferrite)의 분말을 선택하였다. 페라이트는 가아넷(Garnet)페라이트를 사용하였으며, 분말상태로 구하지 못하여 조각을 갈아서 사용하였다.

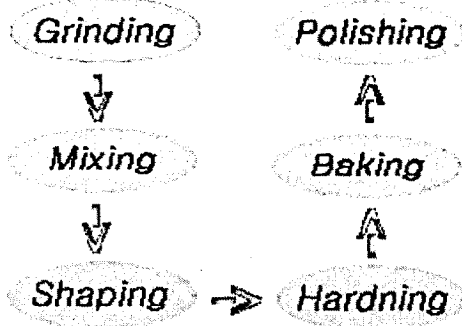


그림 1. 시편 제작과정

Fig. 1. Sample making process

시편제작 과정을 그림1에 간단히 나타내었다. PZT와 페라이트 분말을 각각 조성비를 달리하여(예를들면, PZT:Fe=90%:10%, 70%:30%, 50%:50% 등등) 섞은 후 다시 같은 후에 원형몰드를 이용하여 샘플의 모양을 제작하였다. 이때 샘플의 지름은 약5.9mm, 두께는 0.3~0.5mm정도 되었다.

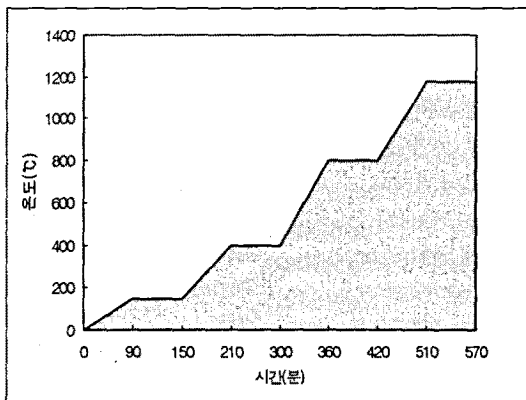


그림 2. 시편 소결온도와 시간

Fig. 2. Sample baking temp. & time

상온에서 건조시킨후 샘플을 그림2의 온도와 시간에 맞추어 소결하였다. 소결된 각 조성의 시편에 대하여 두께가 0.1~0.2mm가 될 때까지 폴리싱(polishing) 작업을 하였다. 폴리싱 작업이 끝난 시편은 전기적 특성을 측정하기 위해 상·하부에 전극을 입힌 후 P-E loop 측정에 들어갔다. 상부 전극으로는 지름 0.5 mm인 금(Au)을 실온에서 열증착 시켰으며, 하부전극으로는 은(Ag)을 사용하였다.

자기적 특성 측정은 VSM을 이용하였으며 시편의 보호를 위해 폴리싱 작업 전에 측정하기도 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 자기적특성 측정

1180°C/570min.에서 소결한 시편에 대한 자기적 특성은 Oxford univ.에서 제작한 VSM(Vibrating Sample Magnetometer)을 이용하였으며 상온에서 -4500~4500[Oe]의 자장을 인가하였다.

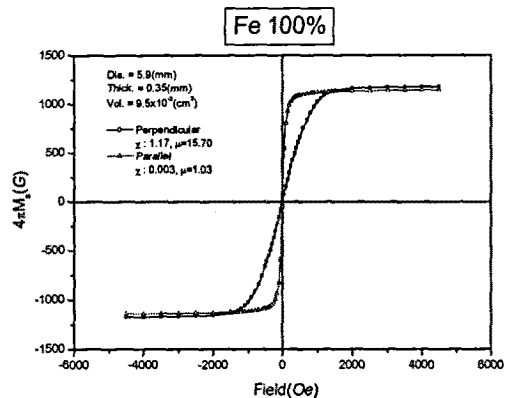


그림 3. 페라이트100% 시료에 대한 VSM 데이터

Fig. 3. VSM data for Ferrite 100%

$$B = H + 4\pi M, \quad \chi = \frac{dM}{dH}, \quad \mu = \frac{dB}{dH} = 1 + 4\pi\chi$$

그림3은 페라이트 100% 시료에 대한 자장(magnetic force,  $H$ )과 자화(magnetization,  $M$ ) 곡선을 나타내었다. 위 공식을 이용하여 그래프로부터  $\chi$  값을 얻고 이로부터 투자율(permeability,  $\mu$ )을 구할 수 있겠다.<sup>[4]</sup>

자장은 시료의 수직방향과 수평방향으로 인가하였으며 각각 자화의 포화점이 다르게 나타났다. 이는 시료 내부에 수평방향으로 자장이 많이 걸리게 되면 자기 모멘트가 살아있게 되지만, 수직방향으로 시료

내부에 자장이 많이 걸리게 되면 오래 작용하지 못하고 자기 모멘트가 쉽게 회전하게 되는 것으로 사료된다.

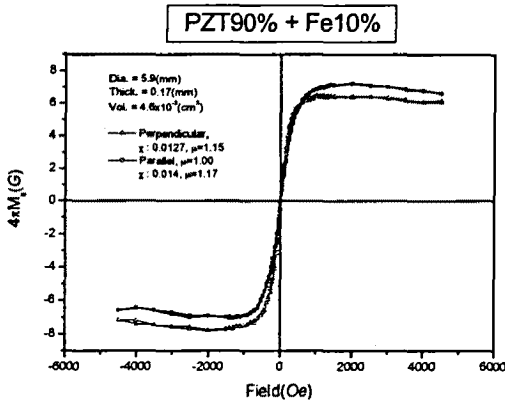


그림 4. PZT90%와 페라이트10% 시료에 대한 VSM 데이터  
Fig. 4. VSM data for PZT90% and Ferrite 10%

그림4는 PZT90%와 페라이트10% 시료에 대한 자장(H)과 자화(M) 곡선을 나타내었으며, 페라이트 비율에 비례하여 자화의 값이 변할 것으로 예상했으나 PZT물질의 다량 함유로 인하여 자기적 성질에 영향을 준 것으로 사료된다. 또한 자장의 세기가 커짐에 따라 그래프의 기울기가 역방향으로 변화되는 것으로 보아 순수PZT물질의 자화곡선은 역방향(negative) 기울기를 보일 것으로 예상할 수 있겠다.

### 3.2 전기적특성 측정

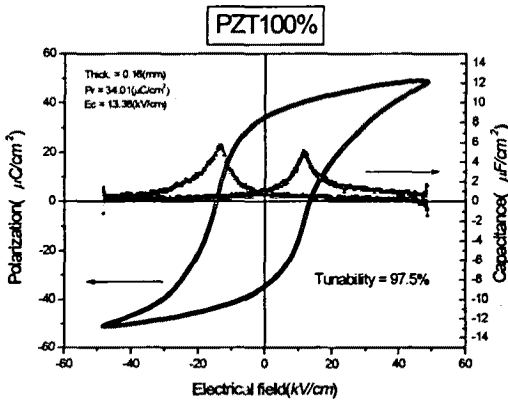


그림 5. 순수 PZT대한 P-E Loop  
Fig. 5. P-E Loop for pure PZT

VSM측정후 시편에 전극을 올린 다음 전기적특성 측정을 하였다. PZT/Ferrite의 P-E hysteresis loop 측정은 1pC resolution electrometer calibrated with RT66A pulsed tester를 이용하였다. 시편은 전형적인 잔류분극(remanent polarization,  $P_r$ )과 항전기력(coercive electric field,  $E_c$ )값을 나타내었다.

그림5와 그림6의 P-E Loop는 식  $C = dQ/dV$ 을 이용하여 C-V Loop로 변형할 수 있으며 C값을 이용하여 유전율( $\epsilon$ )과 tunability를 구할 수 있겠다.<sup>[5]</sup>

$$Tunability = \frac{(C_{max} - C_{min})}{C_{max}} \times 100 = \frac{(\epsilon_{max} - \epsilon_{min})}{\epsilon_{max}} \times 100$$

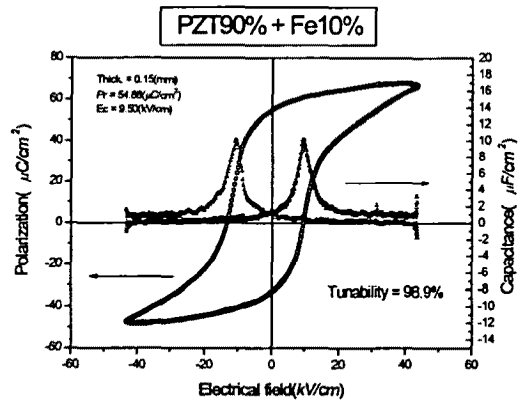


그림 6 PZT90%와 페라이트10% 시료에 대한 P-E Loop  
Fig. 6. P-E Loop for PZT90% and Ferrite 10%

## 4. 결론

전기적·자기적 tunability 특성을 조사하기 위해 PZT/Ferrite 세라믹을 조성을 달리하여 제작하였으며, 본 논문에서는 주된 관심사였던 PZT50%/Fe50% 시료의 P-E loop가 측정이 잘 되지 않은 관계로 PZT90%/Fe10% 시료에 대한 데이터만을 실었다.

순수 PZT대한 잔류분극과 항전기력 값은 34.01 ( $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ ), 13.38(kV/cm)이고 PZT90%/Fe10% 시료에 대한 잔류분극과 항전기력 값은 54.88( $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ ), 9.50(kV/cm)이며, tunability는 각각 97.5%, 98.9%가 나왔다.

결과적으로, 물질의 조성이 강유전적 성질과 자성체적 성질의 두가지 특성을 동시에 가질 수 있게 하였으며, 투자율과 유전상수값의 조절로 인하여 임피

던스 정합 소자나 매질에서 특성임피던스 및 전파속도의 조정이 가능할 수 있겠다.

앞으로의 연구방향으로는 강유전체와 준강자성체의 구조적 특성을 분석하여 적당한 조성비와 신뢰성 있는 세라믹 제작방법으로 좀더 좋은 특성을 얻을 수 있다면 마이크로파 소자에의 응용에 더 나은 성과를 기대할 수 있겠다.<sup>[6]</sup>

### 참고 문헌

- [1]. W.Wersing, "Electronic Ceramics", ELSEVIER APPLIED SCIENCE, pp67-119, 1991.
- [2]. W.Chang, J.S.Horwitz, A.C.Carter, J.M.Pond, S.W.Kirchoefer, C.M.Gilmore, D.B.Chrisey, "The effect of annealing on the microwave properties of  $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$  thin films" Appl. Phys. Lett. 74, pp1033, 1999.
- [3]. W.J.Kim, W.Chang, S.B.Qadri, H.D.Wu, J.M.Pond, S.W.Kirchoefer, H.S.Newman, D.B.Chrisey, J.S.Horwitz, "Electrically and magnetically tunable microwave device using  $(Ba,Sr)TiO_3/Y_3Fe_5O_{12}$  multilayer" Appl. Phys. A71, pp7, 2000
- [4]. H.Chang, I.Takeuchi, X.D.Xiang, "A low-loss composition region identified from a thin-film composition spread of  $(Ba_{1-x-y},Sr_xCa_y)TiO_3$ " Appl. Phys. Lett. 74, pp1165, 1999.
- [5]. B.H.Park, Y.Gim, Y.Fan, Q.X.Jia, P.Lu, "High nonlinearity of BST films heteroepitaxially grown on MgO substrates" Appl. Phys. Lett. 77, pp2587, 2000.
- [6]. W.J.Kim, H.D.Wu, W.Chang, S.B.Qadri, J.M.Pond, S.W.Kirchoefer, D.B.Chrisey, J.S.Horwitz, "Microwave dielectric properties of strained  $(BaSr)TiO_3$  thin films" Journal of Appl. Phys. 88, pp5488, 2000