

## Electrical and Magnetical Characteristics for PZT/Ferrite Ceramics

金璋鎔\* · 李相炫\*\* · 李丞峯\*\* · 安亨虎\*\*\* · 玄忠一\*\* · 李明世\* · 文炳武§  
 (Jang-Yong Kim · Sang-Hyun Lee · Seung-Bong Lee · Hyoung-Ho Ahn ·  
 Hyun-chung Il · Myung-Se Lee · Byung-Moo Moon)

**Abstract** - This thesis deal with ferroelectric and ferromagnetic materials. PZT/Ferrite ceramics were made by the making process using PZT powder and garnet ferrite powder. PZT and ferrite are mixed as much 90%-10%, 50%-50%, and so on. After making samples, we are polishing samples until thickness is 0.1~0.2mm. We measured all kinds of samples in room temperature and applied magnetic field from -4500 to 4500 Oersted and conducted test of magnetical and electrical measurement using VSM and 1pC resolution electrometer calibrated with RT66A pulsed tester. From this measurement, we can calculate tunability of these samples using C value obtained from P-E loop. As a result, it was able to measure magnetic characteristic when two matter had each other component ratio, and it was composed. However, it confirmed the possibility that was able to have ferroelectric characteristic with you in PZT 90% and ferrite 10%. Therefore, If this thing comes for PZT 50% and ferrite 50% have ferroelectric characteristic as him in a compound sample ore, can use this in an oscillator, supersonic waves detector in addition to a piezoelectric element. It may contribute to multipurpose of an element and demands such as a miniaturization of equipment, efficiency, reduce of a price which can use a characteristic of two components.

**Key Words** : PZT( $Pb[Zr,Ti]O_3$ ), VSM(Vibrating Sample Magnetometer),  $4\pi M_s$ (Saturation Magnetization, 포화자화),  $P_r$ (Remanent polarization, 잔류분극),  $E_c$ (Coercive electric field, 항전기력)

### 1. 서 론

1940년대에 발견된  $BaTiO_3$ 에 잇따라  $PbTiO_3$ , PZT,  $LiNbO_3$  등의 Perovskite형 강유전체 세라믹이 발견되었다. 이들은 유전성, 절연성, 초전성 등의 성질을 이용하여 압전소자, 전기광학소자, IR검출소자, 콘덴서 등 여러 분야에 걸쳐 실용화 되어 electronics 분야에 비약적인 발전을 이루고 있다[5].

원래 강유전체(ferroelectrics)는 비선형 유전체의 한 종류로서 전계 의존 유전상수(electric-field-dependent dielectric constant)를 가지고 있으며[1], 이러한 성질은 오실레이터(oscillator)안의 공동 공진기(cavity resonators) 또는 트랜스미션 라인의 위상 변환장치(phase shifter) 등 주파수 조정 마이크로웨이브 소자의 새로운 분야를 발전시키는데 사용되어 왔다[2]. 뿐만 아니라 근래에 와서 차세대 ULSI메모리 재료로 종래의  $SiO_2$ 나  $SiN_4$ 를 대신하여 우수한 분극특성을 지닌 PZT( $PbZr_xTi_{1-x}O_3$ )계와 같은 복합 산화물의 강유전체 박막이 주목을 받고 있다[3,4]. PZT를 중심으로 한 압전 소자의 활발한 연구개발로 인하여 세라믹필터, 부저, 압전 트랜스, 압전 착화소자, 진동자, 초음파 장치, 세라믹 반도체 및 센서 등

의 응용 분야가 광범위하게 이루어지고 있다[4]. 또한 최근에는 강유전체 박막화 기술연구가 성행하여 박막기술, IC기술 진보에 의해 DRAM용 capacitor와 비휘발성 메모리 또는 전기광학효과 응용인 광 스위치나 광 shutter 등의 연구가 활발해지고 있다[6,7]. B.Jaffe 등에 의해서 개발된  $Pb(Zr,Ti)O_3$  조성을 갖는 PZT계는 대표적인 압전세라믹스 재료로 상전이점인 큐리온도가 높고 항전계가 크지만, 유전상수 및 압전상수가 작아서 전계유기왜형은 작은 단점이 있지만, 왜형의 온도 및 전계 의존성이 작고 응답속도가 빠르므로 압전세라믹스 전자부품소재로서 널리 사용되고 있다[5,8]. 그러나 단일상 재료가 갖는 전기·기계적 특성의 한계성 때문에 이 PZT계 압전세라믹스 만으로는 새로운 압전세라믹스 부품 개발 및 그 응용성과 성능향상이라는 면에는 많은 어려움을 안고 있다[9].

그러므로, 본 논문에서는 PZT를 위주로 한 강유전체를 대상으로 하나의 강유전체와 페라이트의 합성세라믹을 제작, 전기적 특성과 자기적 특성을 측정하여 이 물질에 대한 물성과 응용 분야에 대해 연구하였다.

### 2. 실험 및 측정

#### 2.1 시편 제작

본 실험에서는 PZT/Ferrite 시료제작을 위해 압전세라믹 재료로서 PZT 분말과 자성체 재료로서 가아넷(Garnet) 페라이트(Ferrite)의 분말을 각각 사용하였다. 단, 페라이트는 분말상태로 구하지 못하여 고체상태의 조각을 갈아서 사용하였다. PZT와 페라이트 분말을 각각 함량비를 달리하여(예를 들

\* 非 會 員 : 高麗大學校 電氣工學科 博士課程  
 \*\* 非 會 員 : 高麗大學校 電氣工學科 碩士課程  
 \*\*\* 非 會 員 : 高麗大學校 微細素子工學科 碩士課程  
 § 正 會 員 : 高麗大學校 電氣工學科 教授 · 工博  
 接受日字 : 2002年 10月 15日  
 最終完了 : 2003年 1月 10日

면, PZT : Ferrite=90% : 10%, 70% : 30%, 50% : 50%, 30% : 70% 등등) 섞은 후 다시 갈고, 그 후에 피세인 액체를 3~4방울 첨가하여 완전 혼합을 한 후, 완전건조 직전에 100번 체(sieve)를 이용하여 거름하여 PZT/Ferrite의 합성분말을 준비하였다. 그리고 원형몰드를 이용하여 각 합성분말을 소정의 금형에 담아 유압프레스를 통해 약 140 MPa의 압력으로 압축성형 하여 시편을 제작하였으며, 이때 시편의 지름은 약5.9mm, 두께는 0.3~0.5mm 정도였다.

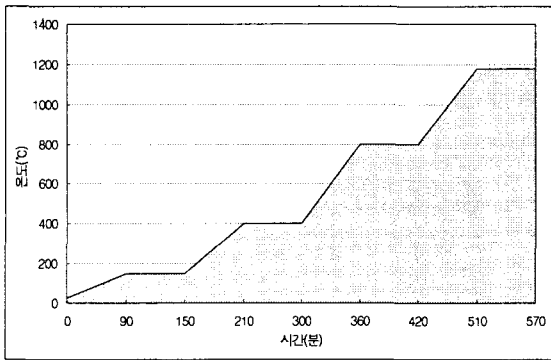


그림 1 시료의 소결온도와 시간  
Fig. 1 The sintered temperature and time of specimen

이들 시편들을 상온에서 건조시킨 후 소결 시켰으나 소결 방법은 종래와는 달리 그림 1에 나타낸 바와 같이 각 온도별로 시간대를 조정하여 시료를 소결하였다. 즉, 첫 번째 단계(150°C 까지)는 시편에 있는 물을 없애는 단계이고, 두 번째 단계(150~400°C)는 피지컬 옵션(Physical Option) 된 파티클(particle)들을 날려 보내는 단계이다. 세 번째 단계(400~800°C)는 케미컬옵션(Cheical Option)된 파티클(particle)들을 날려 보내는 단계이다. 위에서 말한바와 같이 800°C 정도에서는 화학적으로 결합된 놈들을 없애기 위함이다. 마지막으로 네 번째 단계(800~1180°C)는 갈라짐이나 부서지는 것을 방지하기 위함이 주목적이다. 이상과 같이 소결한 각 조성의 시료에 대하여 두께가 0.1~0.2mm가 될 때까지 유리판위에 시료를 접착시켜 다이아몬드 페이스트를 이용하여 폴리싱(polishing) 작업을 하였다. 지금까지의 시료제작 과정을 그림 2에 간단한 도표로 나타내었다.

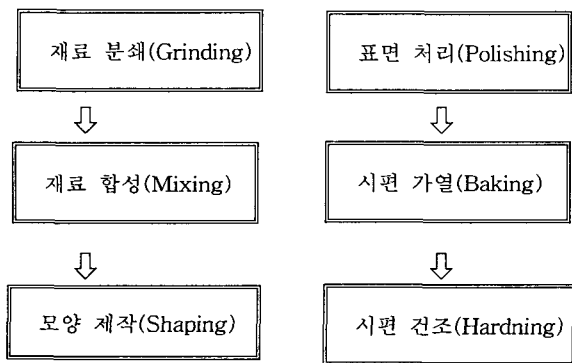


그림 2 시료의 제조과정  
Fig. 2 The making process of specimen

폴리싱 작업이 끝난 시편은 전기적 특성을 측정하기 위해 상·하부에 전극을 입힌 후 P-E loop 측정에 들어갔다. 상부 전극은 지름 0.5 mm인 망을 이용하여 시편에 금(Au)을 실은 후 열 증착시켰으며, 하부전극으로는 은(Ag)을 사용하였다.

### 2.2 전기적 특성 측정

PZT/Ferrite의 P-E 히스테리시스 곡선 측정은 펄스 테스터 RT66A로 보정된 1pC 전위 분석계를 이용하였다. 히스테리시스 곡선을 구하는 원리를 알아보면, 평행판 시료의 양면에 전극을 만들고 전압을 가하면 유전체의 전기변위에 비례하는 일정량의 전하 Q[C]가 생기고

$$Q = D \cdot S = CV$$

로 나타낸다. S는 전극의 면적[m<sup>2</sup>]이다.

### 2.3 자기적 특성 측정

시료의 자기적 특성은 Oxford instrument사의 VSM을 이용하였다. VSM(Vibrating Sample Magnetometer)은 자화의 측정을 위한 장비로서 1.4K~300K의 온도 범위와 -0.6~0.6 테슬라(tesla)의 자계의 범위를 가지고 있으며, 저온에서의 측정은 헬륨을 이용한다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 자기적 특성 측정

1180°C/570min.에서 소결한 시편에 대한 자기적 특성은 Oxford instrument에서 제작한 VSM(Vibrating Sample Magnetometer)을 이용하였으며 상온에서 -4500~4500[Oe]의 자장을 인가하였다. 자장은 시료에 대하여 수직방향과 수평방향으로 인가하였으며 그때 측정된 그래프를 아래에 실었다.

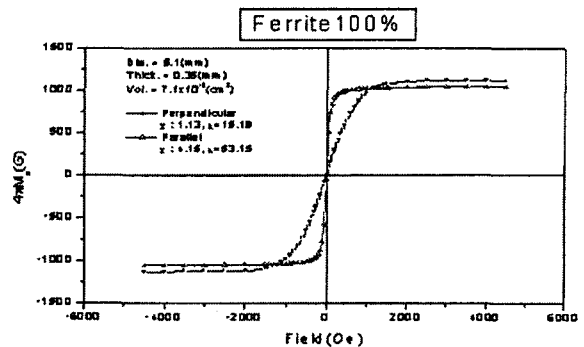


그림 3 페라이트 100% 시료에 대한 VSM 데이터  
Fig. 3 The VSM data of the Ferrite 100% specimen

그림 3은 페라이트 100% 시료에 대한 자장(magnetic force, H)과 자화(magnetization, M) 곡선을 나타내었으며, 페라이트 100% 시료에 대한 포화자화(saturation magnetization, Ms)의 값은 수직방향이 1110[G], 수평방향이 1082[G]이다. 이

는 수평방향으로 자장이 걸리게 되는 시료는 내부에 오랫동안 자장이 많이 걸리게 되면서 빨리 자화가 포화되지만, 수직 방향으로 자장이 걸리게 되는 시료는 내부에 자장이 오래 작용하지 못하므로 자화의 포화점이 늦게 나타나는 것으로 사료된다.

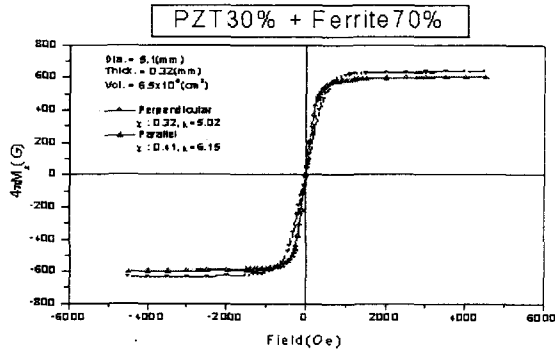


그림 4 PZT 30%와 페라이트 70% 시료에 대한 VSM 데이터

Fig. 4 The VSM data of the PZT 30% and Ferrite 70% specimen

그림 4는 PZT 30%와 페라이트 70% 시료에 대한 자장(H)과 자화(M) 곡선을 나타내었으며, PZT 50%와 페라이트 50% 시료에 대한 포화자화(Ms)의 값은 수직방향성이 617[G], 수평방향성이 573[G]을 나타내었다.

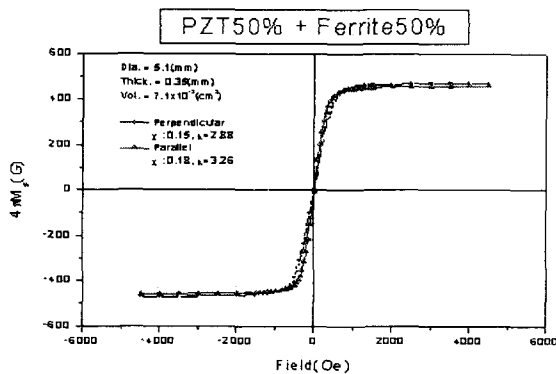


그림 5 PZT 50%와 페라이트 50% 시료에 대한 VSM 데이터

Fig. 5 The VSM data of the PZT 50% and Ferrite 50% specimen

그림 5는 PZT 50%와 페라이트 50% 시료에 대한 자장(H)과 자화(M) 곡선을 나타내었으며, PZT 50%와 페라이트 50% 시료에 대한 포화자화(Ms)의 값은 수직방향성이 451[G], 수평방향성이 434[G]를 나타내었다. 그림 3~8는 아래의 공식을 이용하여 그래프로부터 기울기를 구하여 자화율(susceptibility, χ)값을 얻고 이로부터 투자율(permeability, μ)을 구할 수 있겠다.

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

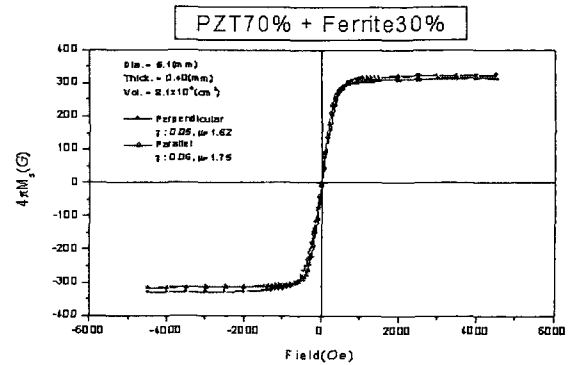


그림 6 PZT 70%와 페라이트 30% 시료에 대한 VSM 데이터

Fig. 6 The VSM data of the PZT 70% and Ferrite 30% specimen

그림 6은 PZT 70%와 페라이트 30% 시료에 대한 자장(H)과 자화(M) 곡선을 나타내었으며, PZT 70%와 페라이트 30% 시료에 대한 포화자화(Ms)의 값은 수직방향성이 311[G], 수평방향성이 302[G]를 나타내었다. 페라이트의 성분이 점점 감소함에 따라 자계에 대한 포화점이 낮아지면서 수직방향과 수평방향의 자화의 기울기는 점차 큰 차이가 없어져가는 것으로 보인다.

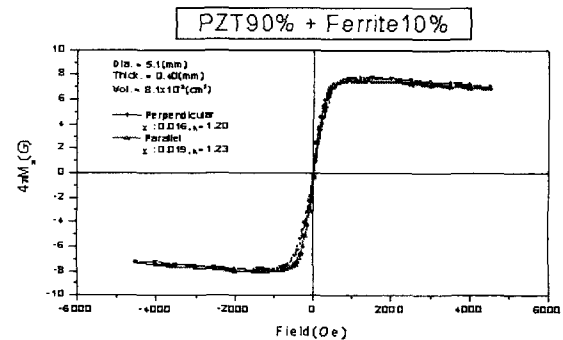


그림 7 PZT 90%와 페라이트 10% 시료에 대한 VSM 데이터

Fig. 7 The VSM data of the PZT 90% and Ferrite 10% specimen

그림 7은 PZT 90%와 페라이트 10% 시료에 대한 자장(H)과 자화(M) 곡선을 나타내었으며, PZT 90%와 페라이트 10% 시료에 대한 포화자화(4πMs)의 값은 수직방향성이 7.6[G], 수평방향성이 7.4[G]를 나타내었다. 그림 7에서는 포화점 이후에 기울기가 역방향으로 발생하는 것으로 보아 PZT 100%의 VSM데이터는 역방향 기울기를 보일 것으로 예상할 수 있겠다. 그림 3~7는 페라이트의 성분비가 감소함에 따라서 포화자화의 값이 대체적으로 비례하여 감소하는 현상을 관찰할 수 있었으며, 아래에 각 성분비의 시료에 대한 자화율과 투자율의 값을 전체적으로 표로 나타내었다.

표 1 각각의 시료에 대한 자화율 및 투자율

Table 1 The susceptibility and permeability of each specimen

Sample	χ		μ	
	perpen- dicular	parallel	perpen- dicular	parallel
ferrite 100%	1.13	4.15	15.19	53.15
PZT 30%/ferrite 70%	0.32	0.41	5.02	6.15
PZT 50%/ferrite 50%	0.15	0.19	2.99	3.26
PZT 70%/ferrite 30%	0.05	0.06	1.62	1.75
PZT 90%/ferrite 10%	0.016	0.019	1.20	1.23

3.2 전기적 특성 분석

VSM 측정 후 시편에 전극을 올린 다음 전기적 특성 측정을 하였다. PZT/Ferrite의 P-E 히스테리시스 곡선 측정은 펄스 테스터 RT66A로 보정한 1pC 전위 분석계를 이용하였다.

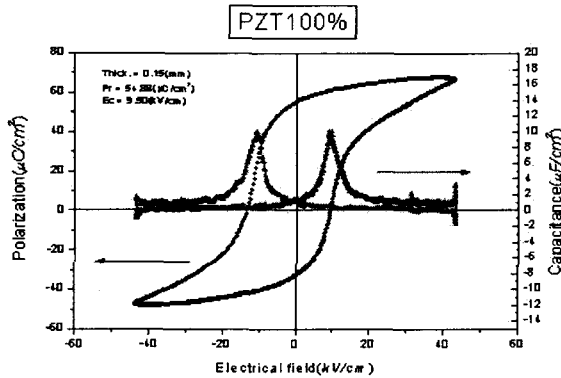


그림 8 PZT 100% 시료에 대한 P-E Loop  
Fig. 8 The P-E Loop of the PZT 100% specimen

그림 8은 PZT 100% 시료의 전계에 대한 분극을 그래프로 나타내었으며, 잔류분극(remanent polarization, Pr)과 항전기력(coercive electric field, Ec)값은 54.88(μC/cm²)과 9.50(kV/cm)로 나타났다. bulk시편 두께를 작게 하면 같은 전계에서 잔류분극은 작아지고 아울러 유전율도 감소추세에 있었고, tanδ는 크게 된다. 이것은 두께감소에 의한 시편에 대한 stress 증가나 결정성의 열화에 관여하고 있다고 사료된다.

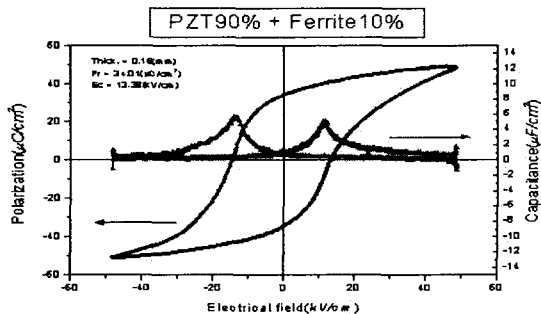


그림 9 PZT 90%와 페라이트 10% 시료에 대한 P-E Loop  
Fig. 9 The P-E Loop of the PZT 90% and Ferrite 10% specimen

그림 9에서는 PZT 90%와 페라이트 10% 시료에 대한 전계에 대한 분극을 그래프로 나타내었으며, 잔류분극과 항전기력은 3.02(μC/cm²)과 13.38(kV/cm)으로 나타났다. 결과적으로 전형적인 PZT의 잔류분극 값을 만족하였으나, 그림 8은 낮은 항전계와 높은 잔류분극을 가지며, 그림 9는 그림 8에 비해 높은 항전계와 낮은 잔류분극을 나타내었다. 잔류분극의 감소는 PZT와 페라이트가 결합되면서 시료 내에 있는 공간전하는 결정립계의 계면 또는 결정립계 등에 쌓이게 되고, 내부 전기장(internal bias field)을 증가시켜 분극의 이동을 방해함으로써 잔류분극이 감소되고 항전계값의 증가는 분극의 이동이 방해받으면서 분극의 이동이 수월한 경우 보다 더 높은 전계를 가해야만 잔류분극의 값을 0으로 만들 수 있기 때문이다라고 사료된다.

그림 8과 그림 9의 P-E 곡선은 식  $C = dQ/dV$ 을 이용하여 C-V 곡선으로 변형할 수 있으며 C값의 변화도 함께 볼 수 있겠다. C값의 그래프 모양은 두 개의 봉우리로 되어있는 산 모양을 띄었으며, 두 산의 꼭지점은 P-E 곡선에서 대략 항전계를 가하여 잔류분극이 0이 되는 지점에 위치하였다. 그 이유는 항전계의 변화량이 가장 적고 전하량의 변화량이 가장 큰 지점이기 때문이다. 그리고 그림 8 보다 그림 9의 꼭지점 최대값이 낮게 나타났는데 그 이유로는 식  $C = dQ/dV$ 에서 보다시피 그림 8이 그림 9 보다 적은 항전계 값에 대하여 높은 전하변화량을 가지기 때문이다.

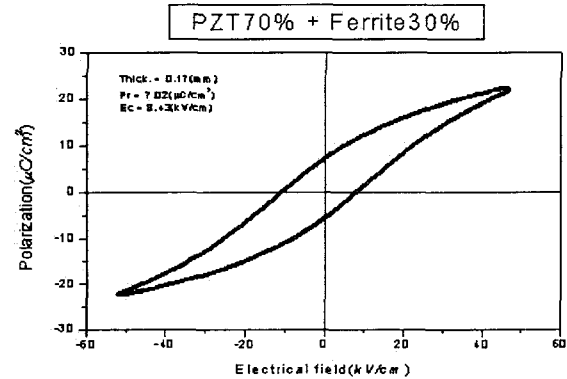


그림 10 PZT 70%와 페라이트 30% 시료에 대한 P-E Loop  
Fig. 10 The P-E Loop of the PZT 70% and Ferrite 30% specimen

그림 10에서는 PZT 70%와 페라이트 30% 시료에 대한 전계에 대한 분극을 그래프로 나타내었으며, 잔류분극과 항전기력은 7.02(μC/cm²)과 8.43(kV/cm)으로 나타났다. 그림 8,9,10을 통해 살펴보면 PZT에 혼합시킨 페라이트 양이 많을수록 Ec는 별로 변하지 않으나 Pr은 감소하고 히스테리시스 곡선의 형상은 슬림(slim)화 하게 된다.

본 조성비부터 완전한 분극을 일으키기 어려워 이력곡선이 포화되지 않은 현상을 볼 수 있었는데, 이는 페라이트 성분의 증가로 인하여 PZT 결정이 중심대칭을 가지게 되면서 자발 분극을 갖지 않고 있는 상태 즉, 상유전상태로 변화했기 때문이라고 사료된다. 그리하여 PZT의 분극 특성을 저하시켜 완전한 분극을 이루지 못하고 얇은 폐곡선을 이루게 되었다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 PZT/Ferrite 성분비를 달리하여 시료를 제작하였으며, 전기적 특성과 자기적 특성을 조사하여 압전 소자에의 응용여부를 판가름 하고자 하였다. 전기적 특성의 분석을 위하여 P-E 히스테리시스 곡선을 측정을 하였고, 자기적 특성의 분석을 위하여 M-H 히스테리시스 곡선을 측정하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. PZT100% 시료는 낮은 항전계와 높은 잔류분극을 가지며, PZT 90%와 페라이트 10% 시료에서는 PZT100% 시료에 비해 높은 항전계와 낮은 잔류분극을 나타내었다.
2. PZT의 체적비가 감소함에 따라 전하량의 크기가 감소하는 경향을 보였으며, PZT 70% 에서는 잔류 분극량이 현저하게 감소하는 특성을 나타내었다. 이와 더불어 PZT 50% 정도에서는 기울기의 변화만 나타났고 잔류 분극량의 측정이 어려웠다.
3. PZT와 페라이트의 합성은 경계면 전하의 증가와 더불어 분극특성을 저하시켰으며, 강유전성을 지닌 PZT를 상유전 상태로 변화시켰다.
4. 페라이트의 체적비가 감소함에 따라 포화자화의 값은 비교적 비례하여 감소하였으며, 자화율과 투자율 값의 편차가 적어지는 경향을 보였다.
5. 시료의 수직방향과 수평방향으로 인가한 자장에 대하여 각각 자화의 포화점이 다르게 나타났다. 이는 시료내부에서 수평방향과 수직방향의 자기모멘트 차이로 사료된다.

결과적으로, 두 물질이 서로 다른 조성비를 가지고 합성되었을 때 자기적 특성은 큰 무리 없이 측정할 수 있었지만, 강유전적 성질을 그대로 지닐 수 있다는 가능성은 PZT 90%와 페라이트 10% 시료에서 확인하였다. 그러나 PZT 성분이 30%이상 줄어들면서 강유전적 특성이 급격히 나빠졌으며, 처음에는 50% 감소할 때까지는 무난히 자신의 특성을 유지할 것으로 예상하였으나 30% 감소분부터 급격히 특성을 잃었으며 50% 감소 시에는 상유전 상태로 변화하였다. 그러므로 PZT 50%와 페라이트 50% 합성 시료에서도 강유전 성질을 그대로 지닐 수 있다면, 페라이트가 지니고 있는 자체 특성과의 복합 작용으로 인하여 압전소자뿐만 아니라 진동자, 초음파 탐지기 등에서 두 가지 성분의 특성을 이용할 수 있는 소자의 다기능화 및 기기의 소형화, 효율화, 가격의 저렴화 등의 요구에 기여하는 등 더 나은 성과를 기대할 수 있겠다.

#### 감사의 글

본 연구는 고려대학교 특별연구비(Supported by a Korea University Grant)에 의하여 수행 되었습니다.

#### 참 고 문 헌

[1] 박춘배, 김덕규, 전장배, "강유전체 Ba<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>TiO<sub>3</sub> 박막의 제조 및 상부전극재료에 따른 전기적 특성", 전기학회 논문지, 제48권 제6호, pp.410-415, 1999

[2] R. D. Richmyer, "Dielectric resonators". Jpn. J. Appl. Phys., 10, 393, 1939

[3] 이성갑, 김경태, 배선기, 이영희, "PZT(10/90)/PZT(90/10) 이중층 박막의 구조적, 전기적 특성", 전기학회 논문지, 제49권 제 2호. pp. 98-102, 2000

[4] K. Fukuda, I. Fujii, R. Kitoh, Y. Cho and I. Awai, "Influence of rare earth ions on BaO-TiO<sub>2</sub>-Rare earth oxide ceramics for microwave applications", Jpn. J. Appl. Phys., 32, 1712, 1993

[5] W. Wersing, "Electronic Ceramics", ELSEVIER APPLIED SCIENCE, pp. 67-119, 1991.

[6] K. Wakino, K. Minai and H. Tamura, "Microwave characteristics of (Zr, Sn) iO<sub>4</sub> and BaO-PbO-Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> dielectric resonators.", J. Am. Ceram. Soc., 66(4), pp. 253-256, 1984.

[7] 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<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub> thin films" Appl. Phys. Lett. 74, pp. 1033, 1999.

[8] Adrianus J. Dekker, "Electrical Engineering Materials", Prentice-Hall Inc., pp.24, 1959.

[9] 성영권, 문병무, "전기 전자 물성 공학", 신성출판사, 2000.

### 저 자 소 개



#### 김 장 용(金 璋 鎔)

1971년 12월 21일생. 1998년 수원대 전기공학과 졸업. 2002년 고려대 미세소자공학과 졸업(석사). 2002년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

Tel : 02-3290-3689

Fax : 02-921-2098

E-mail : hand011@hanmail.net



#### 이 상 현(李 相 炫)

1974년 1월 22일생. 2001년 서울산업대 전기공학과 졸업. 2001년~현재 고려대 전기공학과 석사과정.

Tel : 02-3290-3689

Fax : 02-921-2098

E-mail : hyeonsl@korea.ac.kr



**이 승 봉 (李 丞 峯)**

1977년 6월 25일생. 2001년 고려대 전기 전자전파공학부 졸업. 2001년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : 02-3290-3689

Fax : 02-921-2098

E-mail : maxuser@korea.ac.kr



**이 명 세 (李 明 世)**

1955년 2월 9일생. 1996년 고려대 전기 공학과 졸업(석사). 2002년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. 2002년~현재 철도청 건설본부 전기과장.

Tel : 02-3290-3689

Fax : 02-921-2098



**안 형 호 (安 亨 虎)**

1976년 4월 6일생. 2002년 중앙대 전자전기공학부 졸업. 2002년~현재 고려대 대학원 미세소자공학과 석사과정.

Tel : 02-3290-3689

Fax : 02-921-2098

E-mail : h2ahn@korea.ac.kr



**문 병 무 (文 炳 武)**

1956년 4월 25일생. 1982년 고려대 전기공학과 졸업. 1985년 미국 Rutgers Univ. 전기공학과 졸업(석사). 1990년 미국 Rutgers Univ. 전기공학과 졸업(공학박). 1992~1994 스웨덴 왕립공과대학 교수. 1994~현재 고려대학교 전기공학과 교수.

Tel : 02-3290-3234

Fax : 02-921-2098

E-mail : moon@elec.korea.ac.kr



**현 충 일 (玄 忠 一)**

1977년 6월 6일생. 2003년 고려대 제어계측공학과 졸업. 2003년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : 02-3290-3689

Fax : 02-921-2098

E-mail : [cnddf@netian.com](mailto:cnddf@netian.com)