

# Ba(La<sub>1/2</sub>Nb<sub>1/2</sub>)O<sub>3</sub> - Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub> 세라믹의 상전이 특성에 관한 연구

논문  
8-2-10

## (A Study on the Phase Transition Characteristics of the Ba(La<sub>1/2</sub>Nb<sub>1/2</sub>)O<sub>3</sub>-Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub> Ceramics)

류기원\*, 배선기\*\*, 박인길\*\*\*, 이영희\*\*\*

(Ki-Won Ryu, Seon-Gi Bae, In-Gil Park, Young-Hie Lee)

### Abstract

Temperature dependences of the dielectric constant  $K(T)$ , remanent polarization  $P_r(T)$ , effective birefringence  $\Delta n(T)$ , transmitted light intensity and quadratic electro-optic coefficient  $R(T)$  of the two-stage sintered  $x\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-(1-x)\text{Pb}(\text{Zr}_y\text{Ti}_{1-y})\text{O}_3(x=0.085, 0.09, 0.40 \leq y \leq 0.70)$  ceramics were investigated.

Increasing the  $\text{PbZrO}_3$  contents, the crystal structure of a specimen was changed from a tetragonal phase to a rhombohedral and cubic phase, and the phase transition was showed a diffuse phase transition(DPT) characteristics. In the compositions which located on the PE-FE phase boundary, the discrepancy was observed between the Curie temperature and temperature which a microscopic polarization and effective birefringence were disappeared.

**Key Words(중요용어)** : BLN-PZT ceramics(BLN-PZT세라믹), Phase transition(상전이), Effective birefringence(유효복굴절), Quasiferroelectrics(준강유전), Two-stage sintering method(2단 소성법).

### 1. 서 론

1981년 M. Yokosuka등<sup>1)</sup>이 핫프레스된  $\text{A}(\text{A}'_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-\text{PbZrO}_3-\text{PbTiO}_3(\text{A}=\text{Ba,Sr}, \text{A}'=\text{Pb,Ca,Sr})$  3 성분계 세라믹에서 우수한 전기광학 특성, 광변환 효율 및 온도안정성을 발견한 이후, 복합 3성분계 세라믹은 La, Ba, Sr등의 단일 불순물이 치환된  $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ 계 세라믹에 비해 우수한 유전, 광학 및 전기광학 특성을 나타내는 조성 변태 상경계 영역(morphotropic phase boundary region, MPB)이 더욱 확장되며, 조성의 변화에 따라 재료 특성의 선택폭이 넓다는 장점을 지녀 전기광학 재료로서 그 중요성이 증대하고 있다.<sup>2)</sup>

그러나 복합 3성분계 세라믹은  $\text{PbTiO}_3, \text{BaTiO}_3$  등의 2성분계 세라믹과는 달리 강유전상에서 상유

전상으로의 전이가 확산적으로 발생하는 확산형 상전이(diffuse phase transition, DPT) 특성을 나타내어 거시적 분극이 소멸되는 온도와 강유전-상유전 상전이가 발생하는 큐리온도가 일치하지 않는 결과를 초래한다.<sup>3)</sup> 이 현상을 규명하고자 "quasi-ferroelectric",<sup>4)</sup> "domain transition",<sup>5)</sup> "glassy polarization"<sup>6)</sup> 등의 여러 모델들이 제시되었으며, 이를 기초로 하여 강유전 특성의 전기적, 열적 의존성에 대해 많은 연구들이 수행되고 있다.<sup>7)</sup>

따라서 본 연구에서는 전기광학 재료로서 선택한  $x\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-(1-x)\text{Pb}(\text{Zr}_y\text{Ti}_{1-y})\text{O}_3(x=0.085, 0.09, 0.40 \leq y \leq 0.70)$  3성분계 세라믹을 2단 소성법(two-stage sintering method)으로 제작한 후 온도에 따른 유전상수, 잔류분극, 투과광량, 유효복굴절 및 2차 전기광학계수를 측정하여 조성에 따른 상전이 특성을 관찰하였으며, 또한 중간매개상<sup>8)</sup>이 시편의 상전이 특성에 미치는 영향을 고찰하였다.

\* : 여주전문대학 전자과

\*\* : 시립인천대학교 전기공학과

\*\*\* : 광운대학교 전자재료공학과

접수일자 : 1994년 7월 19일

심사완료 : 1994년 10월 31일

### 2. 실 험

#### 2-1. 시편의 제작

각 시료를 시편의 조성식  $x\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3 - (1-x)\text{Pb}(\text{Zr}_y\text{Ti}_{1-y})\text{O}_3$  ( $x=0.085, 0.09, 0.40 \leq y \leq 0.70$ )에 따라 평량한 후, 1차 진공 핫프레스( $1150[^\circ\text{C}], 1[\text{hr}]$  at  $10^{-3}[\text{torr}]$ )와 2차 분위기소결( $1270[^\circ\text{C}], 20[\text{hr}]$ )을 조합한 2단 소성법으로 투광성 BLN-PZT 세라믹을 제작하였다.<sup>9)</sup>

2-2. 측 정

시편의 조성 변화에 따른 결정학적 특성은 X-ray generator(D/MAX-IIIIC, Rigaku)를 사용하여 관찰하였다.

시편의 조성 및 온도 변화에 따른 유전상수  $K(T)$ 는 LCR-meter(AG-4311B, ANDO)를 사용하여 정전용량  $C$ 를 측정 한 후, IRE규정<sup>10)</sup>에 따라 계산 하였으며, 잔류분극  $P_r(T)$ 는 Sawyer-Tower 회로를 이용하여 측정하였다.

전계 및 온도에 따른 유효복굴절  $\overline{\Delta n}(T)$ ,은 Soleil-Babinet compensator(04 SBN001, Melles Griot Co., Ltd.)를 이용하여 상지연(phase retardation)  $\Gamma$ 를 구한 후, 다음식으로 부터 계산하였다.<sup>9)</sup>

$$\Gamma = \overline{\Delta n} \ell \tag{1}$$

여기서,  $\Gamma$  : 상지연[nm]

$\overline{\Delta n}$  : 유효복굴절 [ $\times 10^{-3}$ ]

$\ell$  : 시편의 두께 [ $\mu\text{m}$ ]

시편의 온도에 따른 2차 전기광학계수  $R(T)$ 는 다음식을 이용하여 계산하였다.

$$\overline{\Delta n} = (-1/2) n^3 RE^2 \tag{2}$$

여기서,  $n$  : 시편의 굴절율

$E$  : 인가전계

3. 실험결과 및 고찰

그림 1은  $\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ 의 고용량 및  $\text{PbZrO}_3$ 조성을 달리하였을 때  $x\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3 - (1-x)\text{Pb}(\text{Zr}_y\text{Ti}_{1-y})\text{O}_3$ 시편의 정방정계상과 능면체정계상의 변화 양상을 명확히 관찰하기 위해 (200)과 (002)면의 피크가 발생하는 회절각  $43^\circ \sim 46^\circ$  부분을 확대해서 나타낸 X-선 회절모양이다. 그림에서 관찰할 수 있는 바와 같이  $\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ 의 고용량에 대한 회절모양은 큰 변화를 나타내지 않았으나  $\text{PbZrO}_3$ 조성이 55~70[mol.%]인 경우 입방정계상 및 능면체정계상에서 관찰되는 (200)면의 피크만이 발생하였으며,  $\text{PbZrO}_3$ 조성이 40~50[mol.%]인 경우에는 전형적인 정방정계상의 특성을 나타내는

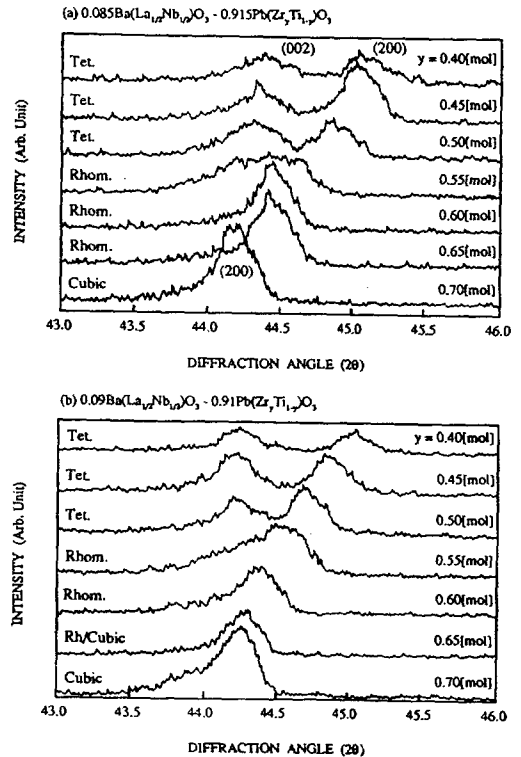


그림 1.  $\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ 의 고용량 및  $\text{PbZrO}_3$ 조성을 달리한  $x\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3 - (1-x)\text{Pb}(\text{Zr}_y\text{Ti}_{1-y})\text{O}_3$  시편의 X-선 회절 모양( $2\theta = 43^\circ \sim 46^\circ$ )  
 Fig. 1. XRD patterns of the  $x\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3 - (1-x)\text{Pb}(\text{Zr}_y\text{Ti}_{1-y})\text{O}_3$  specimens at various contents of  $\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$  and  $\text{PbZrO}_3$  ( $2\theta = 43^\circ \sim 46^\circ$ )

(200), (002)면의 이중 피크가 발생하여  $\text{PbZrO}_3$ 조성이 감소함에 따라 결정구조가 능면체정계에서 정방정계로 변화됨을 알 수 있었다.<sup>11)</sup> 또한  $\text{PbZrO}_3$ 조성이 55[mol.%]인 시편에서는 회절각의 폭이 넓은 것으로 보아 능면체정계와 정방정계간의 조성변태 상경계 영역에 위치하여 두상이 공존하는 것으로 생각된다.

그림 2는  $0.09\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3 - 0.91\text{Pb}(\text{Zr}_y\text{Ti}_{1-y})\text{O}_3$ 시편의 온도에 따른 유전상수를 나타낸 것으로  $\text{PbZrO}_3$ 조성이 증가함에 따라 큐리온도 부근에서 저온 안정상인 강유전상과 고온 안정상인 상유전상간의 상전이가 완만하게 발생하는 확산형 상전이 특성이 나타났다. 확산형 상전이 특성은 단위격자의 8면체 격자자리(A, B-site)에 양이온이 불규칙적으로 치환됨에 따라 조성의 불균일성에 의해

큐리온도 부근에서 유전상수가 분산되는 현상으로 특히 강유전 능면체정계상(FE<sub>rhom</sub>)과 상유전 입방정계상(PE<sub>cubic</sub>)이 공존하는 혼정영역에 근접한 조성에서 더욱 증가하는 경향을 보였다.<sup>3)</sup> 즉 혼정영역에 근접한 조성을 갖는 시편은 분역이 거의 존재하지 않는 매우 낮은 자발분극상태에 있으며, 약간의 온도 상승에 의해서도 분역의 분극배열이 71°, 90°, 109° 및 180°의 위상반전을 하여 거시적으로 분극배열이 형성되지 않는 상유전상의 특성을 나타낸다. 반면 PbZrO<sub>3</sub>조성이 50[mol.%]이하인 시편에서는 정방정계의 결정구조가 지닌 큰 내부변형력에 의해 유전상수가 급격히 변화하는 2차 전성 상전이 특성을 나타내었다.

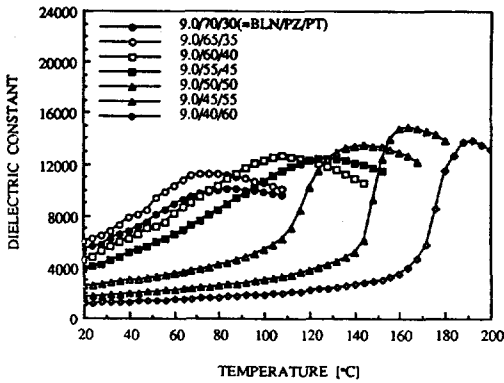


그림 2. PbZrO<sub>3</sub>조성을 달리한 0.09Ba(La<sub>1/2</sub>Nb<sub>1/2</sub>)O<sub>3</sub>-0.91Pb(Zr<sub>y</sub>Ti<sub>1-y</sub>)O<sub>3</sub> 시편의 온도에 따른 유전상수  
 Fig. 2. Dielectric constant of the 0.09Ba(La<sub>1/2</sub>Nb<sub>1/2</sub>)O<sub>3</sub>-0.91Pb(Zr<sub>y</sub>Ti<sub>1-y</sub>)O<sub>3</sub> specimens at various PbZrO<sub>3</sub> composition.

그림 3은 Sawyer-Tower회로를 이용하여 측정된 xBa(La<sub>1/2</sub>Nb<sub>1/2</sub>)O<sub>3</sub>-(1-x)Pb(Zr<sub>y</sub>Ti<sub>1-y</sub>)O<sub>3</sub>시편의 온도에 따른 잔류분극의 변화를 나타낸 것이다. 상온에서 전계 인가에 의해 발생하는 분극현상은 강유전 분역들이 전계방향으로 배향된 결과이며, 전계를 제거할 경우 시편내에는 전계에 의해 생성된 변형력을 완화시키는 정도에 따라 고유한 잔류분극값이 존재한다. 이 때 온도가 상승하면 상유전상으로의 상전이에 의해 잔류분극은 감소하며, 상전이 온도인 큐리온도에서 0의 값을 나타낸다. 그림에서 관찰할 수 있는 바와 같이 정방정계상의 결정구조를 갖는 시편들의 경우, 결정 격자 이방성에 의한 큰 내부 변형력에 기인하여 큐리온도 부근에서 잔류분극값이 급격히 감소하는 2차 전성 상전

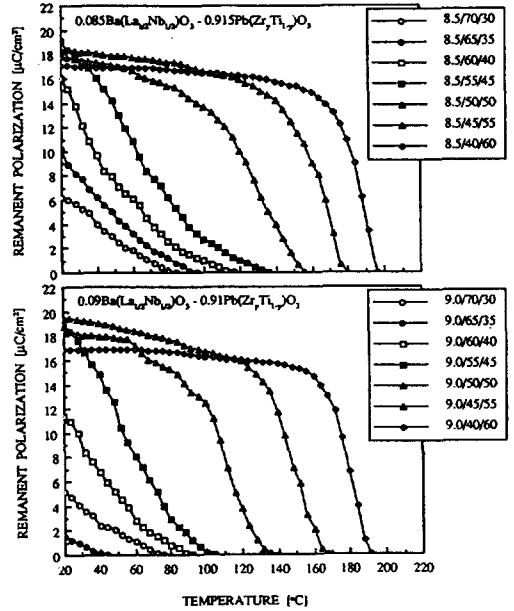


그림 3. Ba(La<sub>1/2</sub>Nb<sub>1/2</sub>)O<sub>3</sub>의 고용량 및 PbZrO<sub>3</sub>조성을 달리한 xBa(La<sub>1/2</sub>Nb<sub>1/2</sub>)O<sub>3</sub>-(1-x)Pb(Zr<sub>y</sub>Ti<sub>1-y</sub>)O<sub>3</sub> 시편의 온도에 따른 잔류분극  
 Fig. 3. Remanent polarization with temperature of the xBa(La<sub>1/2</sub>Nb<sub>1/2</sub>)O<sub>3</sub>-(1-x)Pb(Zr<sub>y</sub>Ti<sub>1-y</sub>)O<sub>3</sub> specimens at various contents of Ba(La<sub>1/2</sub>Nb<sub>1/2</sub>)O<sub>3</sub> and PbZrO<sub>3</sub>.

이 특성을 나타내었으나 혼정영역에 근접한 조성들의 경우에는 큐리온도 보다 낮은 온도에서 잔류분극값이 급격히 감소하는 경향이 관찰되었다. 이러한 현상은 온도에 따른 유전상수의 변화에서 관찰한 바와<sup>3)</sup> 같이 전계 유기 강유전 분역들의 열적 불안정성, 단위 격자자리에 양이온들의 불규칙적 치환에 따른 조성의 불균일성 및 결정입계 부근에 존재하는 비극성영역들에 의한 유전 장벽 효과에 기인한 것으로 생각된다.<sup>12)</sup>

그림 2와 3의 결과로 부터 혼정영역에 근접한 조성들의 경우, 확산형 상전이 특성과 함께 거시적 분극현상이 소멸되는 온도와 큐리온도가 일치하지 않는 현상을 나타내었다. 따라서 본 연구에서는 혼정영역에 위치한 조성들의 상전이 특성을 보다 명확히 관찰하고자 온도에 따른 전기광학 특성의 변화를 관찰하였다.

그림 4는 xBa(La<sub>1/2</sub>Nb<sub>1/2</sub>)O<sub>3</sub>-(1-x)Pb(Zr<sub>y</sub>Ti<sub>1-y</sub>)O<sub>3</sub> (x = 0.085, 0.09, y=0.65, 0.70)시편의 온도에 따른 유효분극절을 측정된 결과이다.

상온에서 전계방향으로 배향되어 있던 분역들이

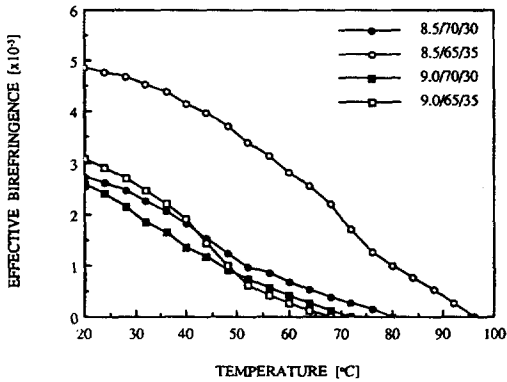


그림 4.  $x\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-(1-x)\text{Pb}(\text{Zr}_y\text{Ti}_{1-y})\text{O}_3$  ( $x=0.085, 0.09, y=0.65, 0.70$ ) 시편의 온도에 따른 유효복굴절

Fig. 4. Effective birefringence with temperature of the  $x\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-(1-x)\text{Pb}(\text{Zr}_y\text{Ti}_{1-y})\text{O}_3$  ( $x=0.085, 0.09, y=0.65, 0.70$ ) specimens.

온도 상승에 의해 열에너지를 공급받아 원래의 무질서한 분극상태로 이완됨에 따라 잔류분극 및 항전계는 감소하며, 분역의 자발분극 방향이 무질서하게 배향되는 광학적 등방체의 특성을 나타낸다.<sup>12)</sup> 따라서 온도가 상승할수록 광학적 등방체로의 상전이에 의해 유효복굴절은 감소하였으며, 잔류분극이 소멸되는 온도 부근에서 0의 값을 나타내었다.

사진 1은 BLN의 고용량이 9.0[mol.%], Zr/Ti의 비가 70/30인 시편(이하 BLN-PZT9.0/70/30시편)의 온도에 따른 투과광량의 변화를 관찰한 것으로 온도가 상승함에 따라 잔류분극의 감소에 의해 투과광량의 이력현상은 감소하였으며, 잔류분극 및 유효복굴절이 0이 되는 74[°C]부근에서 이력현상이 완전히 제거됨을 관찰할 수 있었다.

그림 5는 그림 4의 결과와 식(2)를 이용하여 계산한  $x\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-(1-x)\text{Pb}(\text{Zr}_y\text{Ti}_{1-y})\text{O}_3$  ( $x=0.085, 0.09, y=0.65, 0.70$ )시편의 온도에 따른 2차 전기광학계수의 변화를 관찰한 것으로 온도가 증가함에 따라 2차 전기광학계수는 감소하였다. 이는 온도가 증가할수록 강유전 분역들의 열적 불안정성 및 열적 이완작용이 증대하여 광학적 등방체로 상전이됨에 따라 유효복굴절이 감소함에 기인한 것이며<sup>12)</sup> 특히 능면체정계의 결정구조를 갖는 BLN-PZT 8.5/65/35 시편의 경우, 큰 분극효율에 기인하여 상온에서 가장 큰 2차 전기광학계수값이 관찰되었다. 또한 그림 4의 결과에서와 같이 전조성에 걸쳐 잔류분극이 소멸되는 온도부근에서 2차

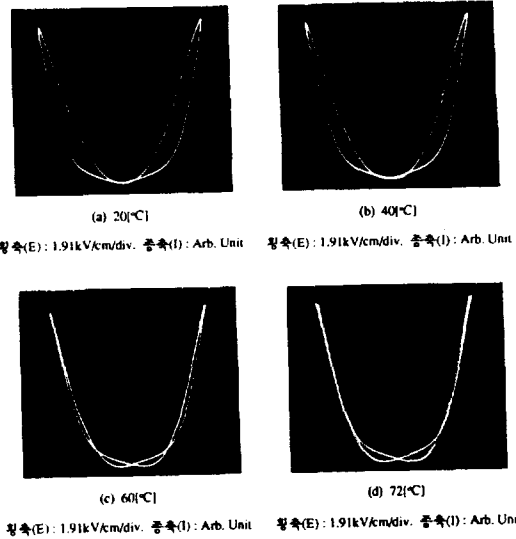


사진 1. BLN-PZT 9.0/70/30 시편의 온도에 따른 투과광량

Photo. 1. Transmitted light intensity with temperature of the BLN-PZT9.0/70/30 specimen.

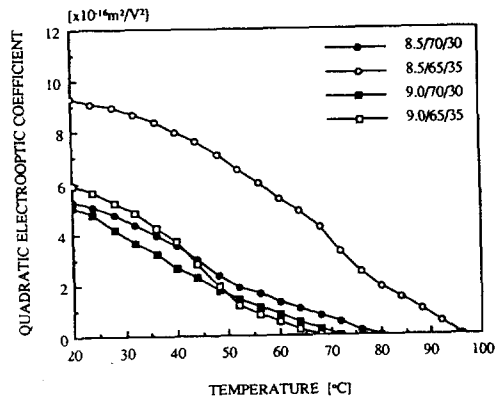


그림 5.  $x\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-(1-x)\text{Pb}(\text{Zr}_y\text{Ti}_{1-y})\text{O}_3$  ( $x=0.085, 0.09, y=0.65, 0.70$ )시편의 온도에 따른 2차 전기광학계수

Fig. 5. Quadratic electrooptic coefficient with temperature of the  $x\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-(1-x)\text{Pb}(\text{Zr}_y\text{Ti}_{1-y})\text{O}_3$  ( $x=0.085, 0.09, y=0.65, 0.70$ ) specimens.

전기광학계수는 0의 값을 나타내었다.

표 1은 혼정영역에 근접한  $x\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-(1-x)\text{Pb}(\text{Zr}_y\text{Ti}_{1-y})\text{O}_3$  ( $x=0.085, 0.09, y=0.65, 0.70$ ) 시편의 상전이 특성을 나타낸 것으로 전조성에 대

해 강유전-상유전 상전이가 발생하는 큐리온도보다 낮은 온도에서 잔류분극 및 유효복굴절이 소멸되는 경향을 나타내었다. 이러한 현상은 상온에서 전계 인가에 의해 형성된 거시적 강유전 상태가 큐리온도 이하의 온도에서 극성이 붕괴된 준강유전 상태로 전이함에 기인한 것으로 생각된다.<sup>4)13)</sup>

표 1. xBa(La<sub>1/2</sub>Nb<sub>1/2</sub>)O<sub>3</sub>-(1-x)Pb(Zr<sub>y</sub>Ti<sub>1-y</sub>)O<sub>3</sub>(x=0.085,0.09,y=0.65, 0.70)시편의 상전이특성

Table 1. Phase transition characteristics of the xBa(La<sub>1/2</sub>Nb<sub>1/2</sub>)O<sub>3</sub>-(1-x)Pb(Zr<sub>y</sub>Ti<sub>1-y</sub>)O<sub>3</sub> (x= 0.085,0.09, y=0.65, 0.70) specimens.

Composition	K(T) <sub>m</sub>	P <sub>r</sub> (T) <sub>m</sub>	Δn(T) <sub>m</sub>	R(T) <sub>m</sub>
8.5/70/30	104	84	80	80
8.5/65/35	114	94	96	96
9.0/70/30	86	74	72	72
9.0/65/35	78	44	68	68

즉, 상온에서 전계방향으로 정렬된 분역구조는 시편 전체에 걸쳐 거시적 분극현상을 형성하며, 거시적 잔류분극(P<sub>r</sub>) 및 유효복굴절( $\overline{\Delta n}$ )은 다음식과 같이 개개의 분역들이 갖는 잔류분극(P<sub>j</sub>) 및 복굴절(Δn<sub>j</sub>)의 합으로 나타낼 수 있다.

$$P_r = \sum_j P_j, \quad \overline{\Delta n} = \sum_j \Delta n_j \quad (3)$$

이 때, 온도가 상승하면 정렬된 분역구조를 이완시키는 열적소극 현상(thermally decoupling mechanism)이 발생하여 P<sub>j</sub>와 Δn<sub>j</sub>가 유한한 값을 유지하는 동안 P<sub>r</sub>과  $\overline{\Delta n}$ 은 급격히 감소하며, 큐리온도 이하의 온도에서 거시적 분극현상이 소멸된다. 이 결과는 전계 인가에 의해 형성된 장거리 질서의 강유전 β상이 큐리온도 보다 낮은 온도에서 단거리 질서의 강유전 α상으로 상전이하여 거시적 분극현상이 소멸된다는 A.E.Krumins의 실험 결과<sup>5)</sup>와 일치한다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 xBa(La<sub>1/2</sub>Nb<sub>1/2</sub>)O<sub>3</sub>-(1-x)Pb(Zr<sub>y</sub>Ti<sub>1-y</sub>)O<sub>3</sub> (x=0.085, 0.09, 0.40≤y≤0.70)세라믹을 2단 소성법으로 제작한 후, 유전상수, 잔류분극, 투과광량, 유효복굴절 및 2차 전기광학계수의 온도의존성

을 측정하여 조성에 따른 상전이 특성을 관찰한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) PbZrO<sub>3</sub>조성이 감소함에 따라 시편의 결정구조는 입방정계에서 능면체정계, 정방정계로 변화하였으며, PbZrO<sub>3</sub>조성이 55[mol.%]부근에 조성 변태 상경계 영역이 존재하였다.
- 2) PbZrO<sub>3</sub>조성이 증가함에 따라 확산형 상전이 특성이 발생하였으며, 특히 강유전 능면체정계상(FE<sub>rhomb</sub>)과 상유전 입방정계상(PE<sub>cubic</sub>)이 공존하는 혼정영역에 근접할 수록 구조 및 조성의 불균일성에 의해 더욱 증가하였다.
- 3) PbZrO<sub>3</sub>조성이 50[mol.%]이하인 시편의 경우, 거시적 분극현상이 제거되는 온도와 큐리온도가 일치하는 2차 진성 상전이 특성이 관찰되었으나 PbZrO<sub>3</sub>조성이 65[mol.%] 이상으로 혼정영역에 근접한 시편에서는 전계 유기 강유전 분역들의 열적 불안정성 및 α-β 상전이에 의해 잔류분극, 유효복굴절, 투과광량 및 2차 전기광학계수가 큐리온도 보다 낮은 온도범위에서 0의 값을 나타내었다.

#### 참 고 문 헌

1. M.Yokosuka et al., "Electrical and Optical Properties of Hot Pressed A(A'<sub>1/2</sub>Nb<sub>1/2</sub>)O<sub>3</sub>-PbZrO<sub>3</sub>-PbTiO<sub>3</sub>(A=Ba,Sr, A'=Pb,Ca,Sr) Ceramics", Jap. J. Appl. Phys., Vol.20, Suppl.20-4, pp.75-78, 1981.
2. A.Sternberg, "Transparent Ferroelectric Ceramics : Properties and Applications", Ferroelectrics, Vol.91,pp.53-67,1989.
3. L. E. Cross, "Relaxor Ferroelectrics", Vol.76,pp. 241-276, 1987.
4. K.Carl et al., "Dielectric and Optical Properties of a Quasi-Ferroelectric PLZT Ceramics", Proc. IEEE, Vol.61, pp.967-974, 1974.
5. F. Shemin et al., "A Study on Domain Transition in Relaxor Ferroelectric PLZT Ceramics", Ferroelectrics, Vol.77, pp.181-187, 1988.
6. M.Yokosuka et al., "Properties of Tetragonal PLZT with Reference to its Diffuse Phase Transition", Jap. J. Appl. Phys., Vol.25, pp. 981-992, 1986.
7. W.Pan et al., "Fatigue of Ferroelectric Polarization and the Electric Field Induced Strain in Lead Lanthanum Zirconate Titanate

- Ceramics", J. Am. Ceram. Soc., Vol.75, pp. 1534-1540, 1992.
8. A.E.Krumins, "Electronic Processes and Phase Transitions in Transparent PLZT Ferroelectric Ceramics", Ferroelectrics Letters, Vol. 1, pp.89-95, 1983.
  9. 이영희 등, "준강유전 BLN-PZT세라믹의 광변조특성", 한국전기전자재료학회지, Vol.6, pp. 454-460, 1993.
  10. "IRE Standards and Piezoelectric Crystals", Proc. IRE, Vol.46, pp.764-778, 1958.
  11. C.G.F.Stenger et al., "Study of Phase Transition and Properties of Tetragonal (Pb,La)(Zr,Ti)O<sub>3</sub> Ceramics-1", J. Phys. Chem. Solids, Vol.41, pp.17-23, 1980.
  12. W.R.Salaneck, "Temperature-dependent ferroelectric domain alignment in PLZT ceramics", J. Appl. Phys., Vol.43, pp. 4468-4473, 1972.
  13. C.Michel et al., "Observation of field-induced microstructure in  $\beta$ -phase of 8/65/35 electrooptic ceramics", Applied physics Letters, Vol.24, pp.559-562, 1974.

저자소개

류기원



1962년 2월 4일생. 1985년 광운대 공대 전자재료공학과 졸업. 1987년 동 산업대학원 졸업(석사). 1994년 광운대 대학원 전자재료공학과 졸업(공학). 현재 여주전문대 전자과 조교수.

박인길



1964년 2월 1일생. 1986년 광운대 공대 전자재료공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 현재 광운대 공대 전자재료공학과 박사과정.

배선기



1950년 4월 9일생. 1976년 승전대 공대 전기공학과 졸업. 1979년 연세대 산업대학원 졸업(석사). 1989년 광운대학교 대학원 전자재료공학과 졸업(박사). 현재 인천대 공대 전기공학과 교수. 당 학회 학술이사.

이영희



1951년 9월 23일생. 1973년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1975년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1981년 동 대학원 전기공학과(공학). 1985년-86년 Penn. State MRL 객원연구원. 현재 광운대 공대 전자재료공학과 교수. 당 학회 총무이사.