

Ba(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃의 고용량과 Zr/Ti 조성비가 Ba(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃-Pb(Zr,Ti)O₃ 세라믹의 전기광학 특성에 미치는 영향

論 文
44~5~14

Effects of Ba(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃ Content and Zr/Ti Composition Ratio on Electrooptic Properties of the Ba(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃-Pb(Zr,Ti)O₃ Ceramics

柳 基 元* · 李 成 甲** · 裴 善 基*** · 李 永 熙§
(Ki-Won Ryu · Sung-Gap Lee · Seon-Gi Bae · Young-Hie Lee)

Abstract - Transparent xBa(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃-(1-x)Pb(Zr,Ti)O₃ (x=8.5, 9.0[mol.%], Zr/Ti=70/30~40/60) ceramics were fabricated by the two-stage sintering method, the electrooptic properties were investigated with Ba(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃ content and Zr/Ti composition ratio. Decreasing the Zr/Ti ratio, the electrooptic property was changed from a quadratic electrooptic effect to a linear electrooptic effect. In the BLN-PZT 9.0/50/50 specimen having the tetragonal structure, the linear electrooptic coefficient had the highest value of 6.01x10⁻¹⁰[m/V] and in the BLN-PZT 9.0/55/45 specimen which located near the MPB region, the quadratic electrooptic coefficient had the highest value of 10.53x10⁻¹⁶[m²/V²].

Key Words : BLN-PZT Ceramics, Electrooptic Effect, Effective Birefringence

1. 서 론

일반적으로 투광성 세라믹의 전기광학 특성과 강유전 이력특성은 밀접한 관계를 갖고 있다. 1974년 G. H. Haertling[1]은 핫프레스된 (Pb,La)(Zr,Ti)O₃ 세라믹의 La 고용량 및 Zr/Ti비에 따른 유효굴절률과 강유전 이력곡선을 측정된 결과, 유효굴절률이 잔류분극 및 항전계값에 의존하며, 조성, 결정립 크기와 같은 전성 요인(intrinsic parameter) 및 온도, 잔류분극, 항전계 등의 외인성 요인(extrinsic parameter)에 따라 전기광학 효과의 크기와 형태가 변화함을 보고하였다. 이후, M. Yokosuka 등[2]은 핫프레스된 A(A'_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbZrO₃-PbTiO₃ (A=Ba, Sr, A'=Pb, Ca, Sr) 3성분계 세라믹에서 우수한 전기광학 특성, 광변환 효율 및 온도안정성을 보고하였으며, 기존의 단일 불순물(La, Ba, Sr 등)이 치환된 Pb(Zr,Ti)O₃계 세라믹에 비해 우수한 유전, 광학 및 전기광학 특성을 나타내는 조성 변태 상경계 영역(morphotropic phase boundary region, MPB)이 더욱 확장되어 조성 변화에 따라 재료 특성의 선택폭이 넓음을 발견하였다.

본 연구에서는 복합 3성분계 세라믹에 대한 기존의 연구들이 장시간의 핫프레스법에 의해 시편을 제조한 점을 고려하여 대량생산이 가능하고 소결조건에 따라 전기광학 특성의 제어가

유리한 2단 소성법[3]으로 투광성 xBa(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃-(1-x)Pb(Zr,Ti)O₃ (x=8.5, 9.0[mol.%], Zr/Ti=70/30~40/60) 세라믹을 제작하였으며, 광변조기, 광서터, color filter 등의 전기광학 실용분야에 적용 가능한 조성영역을 관찰하고자 Ba(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃의 고용량 및 Zr/Ti비에 따른 전기광학 특성의 변화를 측정하였다.

2. 실 험

2.1 시편의 제작

표 1은 시편 제작에 사용한 시료의 순도 및 제조회사를 나타낸 것이다.

각 시료를 시편의 조성식 xBa(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃-(1-x)Pb(Zr,Ti)O₃ (x=8.5, 9.0[mol.%], Zr/Ti=70/30~40/60)에 따라 평량한 후, 아세톤을 분산매로 하여 지르코니아 볼로 50[hr] 혼합 분쇄하였다. 혼합 분쇄된 시료를 100[°C]에서 건조시킨 후, 원통형 금형(φ=30[mm])에 45[g]씩 넣어 400[kg/cm²]의 압력을 인가하여 두께 15[mm], 지름 30[mm] 정도의 크기로 성형하였다. 성형된 시료를 지름 35[mm]의 알루미늄 몰드에 넣고 내부를 이형제인 Al₂O₃ 분말로 채운 다음 10⁻³[torr]의 진공도에서 1150[°C]로 1[hr] 동안 1차 진공 핫프레스하였다. 진공 핫프레스된 시편을 다이아몬드 커터를 사용하여 10[mm]x10[mm]x0.5[mm] (가로x세로x두께)의 크기로 절단한 후, 2중 알루미늄 도가니 구조속에서 1270[°C]로 20[hr] 동안 2차 분위기 소결하였다. 이 때 온도상승율은 300[°C/hr]이었으며, 소결시 시편 내부의 PbO 휘발을 억제하고자 PbZrO₃+PbO₂(10[wt.%])의 분위기를 분말을 사용하여 0.3[mm]의 두께로 표면 연마하였으며, 시편의 가공과정에서 발생하는 내부왜형을 제거하고자 600[°C]에서

* 正 會 員 : 驪州專門大 電子科 助教授 · 工博

** 正 會 員 : 西南大 工大 電子工學科 專任講師 · 工博

*** 正 會 員 : 市立仁川大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

§ 正 會 員 : 光云大 工大 電子材料工學科 教授 · 工博

接受日字 : 1994年 8月 11日

1次 修正 : 1994年 11月 17日

2次 修正 : 1995年 2月 21日

표 1 시료의 순도 및 제조회사

Table 1 Purity and supplier of raw materials

Raw Materials	Purity[%]	Supplier
BaCO ₃	99.98 [*]	Aldrich Chemical Co., Inc.
La ₂ O ₃	99.98 [*]	Fluka Chemical Co., Ltd.
Nb ₂ O ₅	99.9 [*]	Aldrich Chemical Co., Inc.
PbO	99.9 [*]	Aldrich Chemical Co., Inc.
TiO ₂	99.9 [*]	Aldrich Chemical Co., Inc.
ZrO ₂	99.9	Mitsuwas Pure Chemicals.

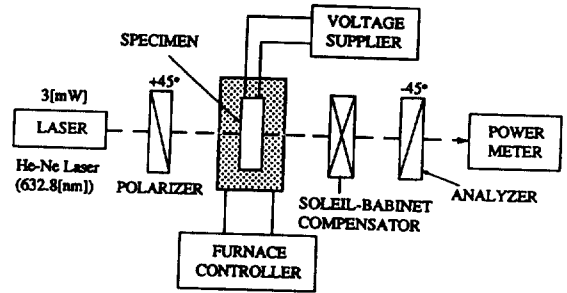


그림 2 전계에 따른 상지연 측정 장치

Fig. 2 Measuring apparatus for the phase retardation with electric field

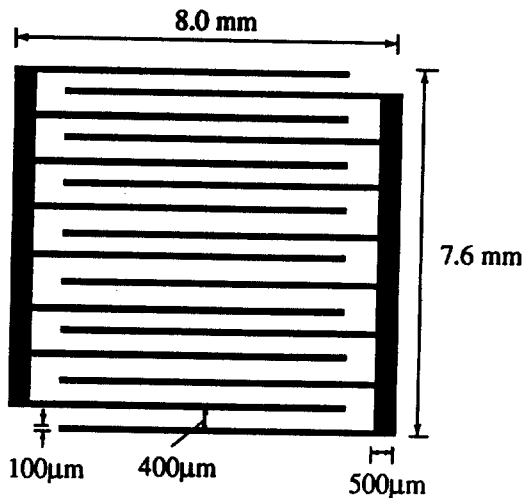


그림 1 교차지 전극의 형태

Fig. 1 Interdigital electrode configuration

3. 결과 및 고찰

그림 3은 2단 소성된 $x\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-(1-x)\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ 시편의 조성 변화에 따른 결정학적 특성을 관찰하기 위해 (200)과 (002)면의 피크가 발생하는 회절각 $43^\circ \sim 46^\circ$ 부분을 확대해서 나타난 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 Zr/Ti비가 70/30~55/45인 경우 입방정계상과 능면체정계상에서 관찰되는 (200)면의 단일피크만이 발생하였으며, Zr/Ti비가 50/50~40/60인 경우에는 전형적인 정방정계상의 특성을 나타내는 (200), (002)면의 2중 피크가 발생하여 Zr/Ti비가 감소함에 따라 시편의 결정구조는 능면체정계에서 정방정계로 상변화됨을 알 수 있다. 또한 Zr/Ti비가 55/45인 경우 회절각의 폭이 넓은 것으로 보아 능면체정계와 정방정계간의 조성 변태 상경계 영역에 위치하여 두상이 공존하는 것으로 생각되며, Zr/Ti비가 70/30인 시편은 입방정계상과 능면체정계상이 공존하는 혼정영역에 위치하여 준입방정계(pseudocubic)의 결정구조를 나타내었다.

사진 1은 $0.09\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-0.91\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ 시편의 Zr/Ti비에 따른 강유전 이력특성을 상온(20[$^\circ\text{C}$])에서 관찰한 것이며, 표 2는 이력곡선으로부터 측정된 $x\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-(1-x)\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ 시편의 포화분극(P_s), 잔류분극(P_r), 항전계(E_c) 및 X-선 회절실험을 통해 분석한 시편의 결정구조를 나타낸 것이다.

이력곡선과 표에서 알 수 있는 바와 같이 시편의 포화분극 및 잔류분극은 능면체정계상과 정방정계상이 공존하는 조성 변태 상경계 영역에 근접한 조성에서 최대값을 나타내었다. 일반적으로 정방정계상에서는 분극 가능한 축방향이 6개이며, 취할 수 있는 최대 잔류분극값은 단결정의 83%, 8개의 분극 가능한 축방향을 갖고 있는 능면체정계상은 단결정의 87[%]에 해당하는 최대 잔류분극값을 나타낸다. 이에 반해 정방정계상과 능면체정계상이 공존하는 조성 변태 상경계 영역에서는 분극 가능한 축이 14개가 되어 큰 분극효율을 나타내며, 최대 잔류분극값은 단결정의 90[%] 이상이 된다.[6] 따라서 시편의 조성이 조성 변태 상경계 영역에 근접할수록 분극효율의 증대 및 분역 성장에 기인하여 포화분극 및 잔류분극이 증가하였으며, 조성 변태 상경계 영역에 가장 근접한 BLN-PZT 9.0/55/45 시편에서 포화분극 및 잔류분극은 각각 $33.6[\mu\text{C}/\text{cm}^2]$, $19.1[\mu\text{C}/\text{cm}^2]$ 의 최대값을 나타내었다. 또한 입방정계상과 능면체정계상이 공존하는 혼정영역에 근접할수록 포화분극 및 잔류분극

1[hr] 동안 열처리하였다.

시편의 전기광학 특성을 측정하기 위해 그림 1의 제원을 갖는 금속 마스크(stainless steel, $t=100[\mu\text{m}]$)를 사용하여 3×10^{-6} [torr]의 진공도에서 알루미늄을 E-beam 증착하였다.

2.2 측 정

전기광학 특성과 밀접한 관계를 지닌 강유전 이력곡선은 Sawyer-Tower회로[4]를 이용하여 관찰하였다.

전계에 따른 유효굴절률 Δn 은 그림 2의 측정장치를 이용하여 상지연(phase retardation) Γ 를 구한 후, 다음식으로 부터 계산하였다.[5]

$$\Gamma = \Delta n \cdot \ell \quad (1)$$

여기서, ℓ : 시편의 두께 [μm]

1차 전기광학계수(r_c) 및 2차 전기광학계수(R)는 각각 다음식을 이용하여 계산하였다.

$$\Delta n = (-1/2)n^3 r_c E \quad (2)$$

$$\Delta n = (-1/2)n^3 R E^2 \quad (3)$$

여기서, n : 시편의 굴절율, E : 인가전계

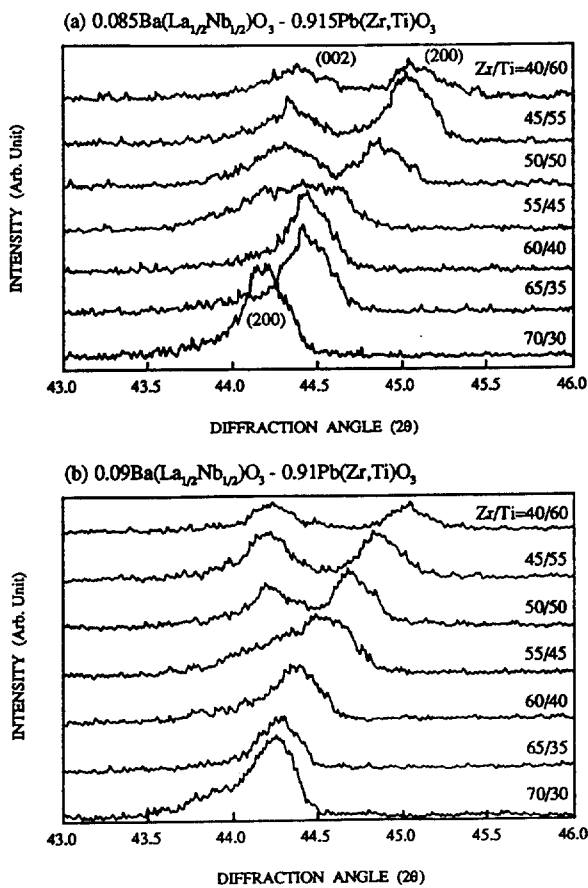


그림 3 Ba(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃의 고용량 및 Zr/Ti비를 달리하였을 때 xBa(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃-(1-x)Pb(Zr, Ti)O₃시편의 X-선 회절모양(2θ=43°~46°)

Fig. 3 XRD patterns in the xBa(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃-(1-x)Pb(Zr, Ti)O₃ specimens at various Ba(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃ content and Zr/Ti ratio. (2θ=43°~46°)

이 감소하는 것은 시편의 결정구조가 입방정계화됨에 따라 자발분극이 감소함에 기인한 것이며, Zr/Ti비가 감소함에 따른 분극값의 감소는 상대적으로 큰 내부변형력을 갖는 PbTiO₃ 조성의 증가에 의해 분극효율이 감소된 결과이다.

Ba(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃의 고용량이 8.5[mol.%]에서 9.0[mol.%]로 증가함에 따라 시편의 잔류분극 및 항전계는 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 Ba(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃의 고용량이 증가할수록 A-자리(site) 공극자 농도가 증가[7][8]하여 분역벽 이동을 촉진시킴에 따라 전계 제거후 형성된 변형력이 용이하게 이완된 결과로 생각된다.[10]

Ba(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃의 고용량 및 Zr/Ti비를 달리하였을 때 열적 소극된 xBa(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃-(1-x)Pb(Zr,Ti)O₃ 시편의 전계에 따른 유효복굴절의 변화를 상온(20[°C])에서 측정하였으며, 그 결과는 그림 4와 같다. 이 때, 교류전계를 인가하면 전계에 따른 유효복굴절의 변화가 나비형 이력특성을 나타내므로 분 측정에서는 시편에 단일방향의 직류전계를 인가하였다.

강유전 이력특성에서 관찰할 수 있는 바와 같이 능면체정계상은 분극 가능한 축이 8개로 전계 인가시 분역의 배향이 용이하게 발생하며, 전계가 증가함에 따라 전계방향으로의 분역 성

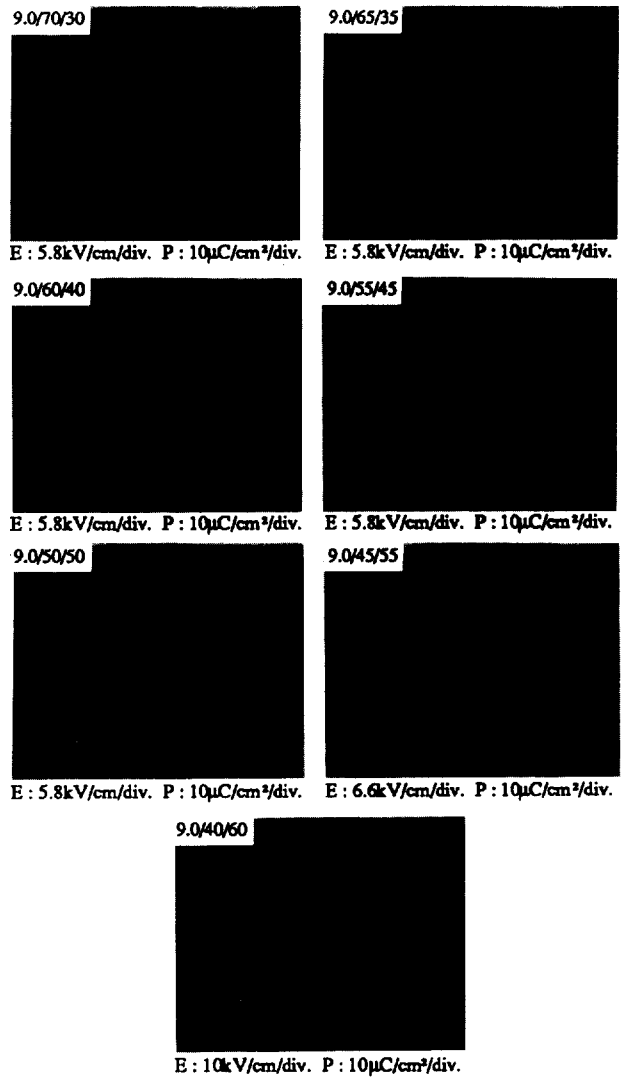


사진 1 0.09Ba(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃-0.91Pb(Zr,Ti)O₃ 시편의 Zr/Ti비에 따른 이력곡선

Photo. 1 Hysteresis loop with Zr/Ti ratio of the 0.09Ba(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃-0.91Pb(Zr,Ti)O₃ specimens.

장은 급격히 증가한다. 반면 정방정계상은 분극 가능한 축이 6개이며, 큰 결정격자 이방성에 의해 분역의 회전을 억제시키는 속박효과가 증가하여 전계에 따른 분역의 배향은 점진적으로 발생한다. 따라서 준입방정계 및 능면체정계의 결정구조를 갖는 시편에서 전계에 따라 유효복굴절이 2차 함수적으로 증가하는 2차 전기광학 특성을 나타내었으며, 조성 변태 상경계 부근에 근접한 BLN-PZT 9.0/55/45 시편의 경우 큰 분극효율 및 분역 성장에 의한 자발분극의 증대로 유효복굴절이 가장 크게 변화하였다. 또한 정방정계의 결정구조를 갖는 시편에서는 전계에 따라 유효복굴절이 선형적으로 변화하는 1차 전기광학 특성을 나타내었으며, BLN-PZT 9.0/50/50 시편에서 가장 큰 변화량이 관찰되었다.

표 3은 x₃a(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃-(1-x)Pb(Zr,Ti)O₃ 시편의 Ba(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃의 고용량 및 Zr/Ti비에 따른 광학 및 전기광학 특성을 나타낸 것이다.

식(2)와 (3)을 이용하여 1차 및 2차 전기광학계수를 계산한

결과, 조성 변태 상경계 영역에 근접하여 큰 분극효율을 나타내는 BLN-PZT 9.0/50/50, 9.0/55/45 시편에서 각각 6.01×10^{10}

Ⅱ 2 $x\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-(1-x)\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ 시편의 결정구조 및 이력특성

Table 2 Crystal structure and D-E hysteresis characteristics of the $x\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-(1-x)\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ specimens

Composition (BLN/PZ/PT) [mol %]	Crystal structure	Spontaneous polarization [$\mu\text{C}/\text{cm}^2$]	Saturation polarization [$\mu\text{C}/\text{cm}^2$]	Remanent polarization [$\mu\text{C}/\text{cm}^2$]	Coercive field [k v/cm]
8.5/65/35	Rhom	20.4	28.2	10.2	3.0
8.5/60/40	Rhom	25.2	32.3	16.0	4.1
8.5/55/45	Rhom	25.4	31.2	19.1	5.3
8.5/50/50	Tet	19.6	28.9	18.5	8.1
8.5/45/55	Tet	20.0	26.4	19.5	10.9
8.5/40/60	Tet	19.2	23.1	17.1	17.8
9.0/70/30	Pseudocubic	13.4	26.5	5.2	2.5
9.0/65/35	Rh/Cubic	8.9	25.2	1.5	0.8
9.0/60/40	Rhom	20.3	32.2	11.4	3.4
9.0/55/45	Rhom	23.2	33.6	19.1	4.7
9.0/50/50	Tet	20.6	30.7	17.8	7.5
9.0/45/55	Tet	21.3	27.2	18.3	10.3
9.0/40/60	Tet	18.4	22.3	16.9	14.1

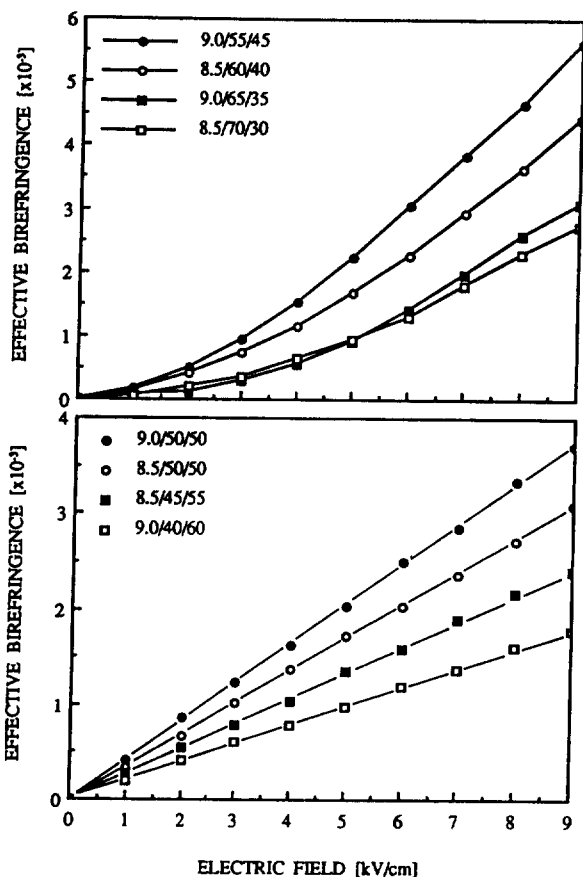


그림 4 $\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ 의 고용량 및 Zr/Ti비를 달리하였을 때 열적 소극된 $x\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-(1-x)\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ 시편의 전계에 따른 유효분극률

Fig. 4 Effective birefringence with electric field of the thermally depolarized $x\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-(1-x)\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ specimens at various $\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ content and Zr/Ti ratio

Ⅲ 3 $x\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-(1-x)\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ 시편의 $\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ 의 고용량 및 Zr/Ti비에 따른 광학 및 전기 광학 특성

Table 3 Optical and electrooptic properties with $\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ content and Zr/Ti ratio in the $x\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-(1-x)\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ specimens

Composition (BLN/PZ/PT) [mol %]	Refractive index		Transmittance (at 632.8nm) [%]	$r_c(\times 10^{-10})$ [mV]	$R(\times 10^{16})$ [m^2/V^2]
	n_e	σ			
8.5/70/30	2.382	0.023	54	-	5.260
8.5/65/35	2.392	0.028	59	-	9.292
8.5/60/40	2.401	0.024	57	-	8.347
8.5/55/45	2.415	0.042	49	-	6.628
8.5/50/50	2.427	0.037	46	4.191	-
8.5/45/55	2.446	0.012	44	3.747	-
8.5/40/60	2.477	0.026	41	2.960	-
9.0/70/30	2.373	0.053	53	-	5.051
9.0/65/35	2.382	0.026	56	-	5.955
9.0/60/40	2.392	0.052	55	-	8.129
9.0/55/45	2.406	0.049	47	-	10.535
9.0/50/50	2.416	0.045	42	6.01	-
9.0/45/55	2.431	0.038	39	4.428	-
9.0/40/60	2.354	0.039	35	2.741	-

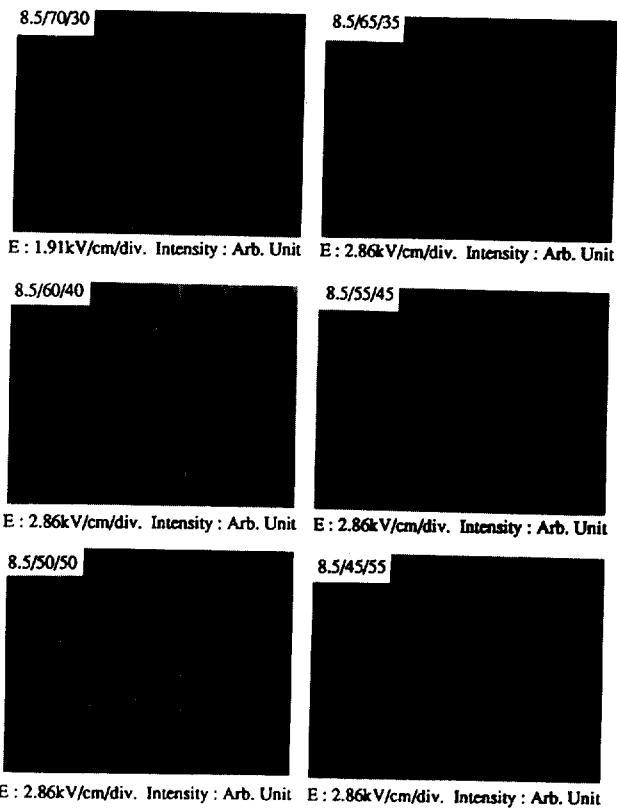


사진 2 Zr/Ti비를 달리하였을 때 $0.085\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-0.915\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ 시편의 전계에 따른 투과광량
Photo 2 Transmitted light intensity with electric field of the $0.085\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-0.915\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ specimens at various Zr/Ti ratio

[mV], $10.53 \times 10^{16} [\text{m}^2/\text{V}^2]$ 의 최대값이 관찰되었다. 또한 $\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ 의 고용량이 증가함에 따라 시편의 굴절률 및 광 투과도가 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 $\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ 의 고용량이 증가할수록 A-자리 공격자 농도가 증가하여 시편의 평균 결정립 크기 및 소결밀도가 감소[9]하며, 공격자에 의

한 광산란이 증가함에 기인한 것으로 생각된다.

사진 2는 Zr/Ti비를 달리하였을때 0.085Ba(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃-0.915Pb(Zr,Ti)O₃ 시편의 전계에 따른 투과광량을 상온(20[°C])에서 관찰한 것이다.

사진에서 관찰할 수 있는 바와 같이 혼정영역에 위치한 BLN-PZT 8.5/70/30 시편에서는 낮은 잔류분극 및 항전계에 기인하여 잔류 투과광량이 거의 존재하지 않았으며, 전계에 따른 투과광량이 2차 함수적으로 변화하는 특성을 나타내었다. 반면 Zr/Ti비가 감소함에 따라 잔류분극이 증가하여 잔류 투과광량 및 투과광량의 이력현상이 발생하였으며, 잔류 투과광량을 제거하는데 필요한 항전계의 증가로 인해 비투과전계(non-transmitted field, E_{NT})가 증가하는 경향이 관찰되었다.

이상의 결과로 부터 Zr/Ti비가 감소함에 따라 시편의 전기광학 특성은 2차 전기광학효과에서 1차 전기광학효과로 변화하였으며, Ba(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃의 고용량에 대해서는 큰 변화가 관찰되지 않았다. 그러나 Ba(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃의 고용량이 증가함에 따라 시편의 잔류분극 및 항전계가 감소하여 투과광량의 이력현상 및 비투과전계가 감소함을 관찰할 수 있었다.

4. 결 론

투광성 xBa(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃-(1-x)Pb(Zr,Ti)O₃ (x=8.5, 9.0[mol. %], Zr/Ti=70/30~40/60) 세라믹을 2단 소성법으로 제작한 후, Ba(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃의 고용량 및 Zr/Ti조성비에 따른 전기광학 특성의 변화를 관찰한 결과, 다음의 결론을 얻었다.

1) Zr/Ti비가 감소함에 따라 시편의 전기광학 특성은 2차 전기광학효과에서 1차 전기광학효과로 변화하였으며, Ba(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃의 고용량에 대해서는 큰 변화가 관찰되지 않았다.

2) Zr/Ti비가 55/45 이상으로 능면체정계의 결정구조를 갖는 시편의 경우, 전계에 따라 유효복굴절이 2차 함수적으로 증가하는 2차 전기광학 특성을 나타내었으며, 조성 변태 상경계 영역에 근접한 BLN-PZT 9.0/55/45 시편에서 큰 분극효율 및 분극 성장에 의한 자발분극의 증대로 10.53x10⁻¹⁶[m²/V²]의 최대 2차 전기광학계수가 관찰되었다.

3) Zr/Ti비가 감소함에 따라 시편의 결정구조는 정방정계로 변화하였으며, 정방정계상이 지닌 큰 내부변형력에 기인하여 전계에 따라 유효복굴절이 선형적으로 변화하는 1차 전기광학 특성을 나타내었다. 1차 전기광학계수는 조성 변태 상경계 영역에 근접한 BLN-PZT 9.0/50/50 시편에서 6.01x10⁻¹⁰[m/V]의 최대값을 나타내었다.

4) Ba(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃의 고용량이 증가함에 따라 시편의 평균 결정립 크기 및 소결밀도가 감소하고 공격자에 의한 광산란이 증가하여 시편의 굴절을 및 광투과도는 감소하였다.

5) Ba(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃의 고용량이 증가함에 따라 시편의 잔류분극과 항전계가 감소하여 투과광량의 이력현상 및 비투과전계가 감소함을 관찰할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] G. H. Haertling et al., "Applied Solid State Science Vol.4", Academic Press, pp.137~233, 1974
 [2] M. Yokosuka et al., "Electrical and Optical Properties of Hot Pressed A(A'_{1/2}Nb_{2/3})O₃-PbZrO₃-PbTiO₃ (A=Ba, Sr, A'=Pb, Ca, Sr) Ceramics", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.20,

Suppl.20-4, pp.75~78, 1981

[3] 이영희 등, "광변조기용 Ba(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃-PbZrO₃-PbTiO₃ 세라믹의 전기광학 특성", 대한전기학회 논문지, 제42권, 제1호, pp.78~86, 1993
 [4] J. C. Burfoot et al., "Polar Dielectrics and Their Application", Macmillan Press, pp.34~42, 1979
 [5] 류기원, "Ba(La_{1/2}Nb_{1/2})O₃-Pb(Zr,Ti)O₃ 세라믹의 광변조 특성에 관한 연구", 광운대학교, 박사학위논문, 1994
 [6] 田中哲郎 外, "壓電 セラミック材料", 學獻社, pp.50~57, 1973
 [7] B. Jaffe and W. R. Cook, "Piezoelectric Ceramics", Academic Press, pp.237~242, 1971
 [8] R. C. Buchanan, "Ceramic Materials for Electronics", Marcel Dekker Inc., pp.47~51, 1987
 [9] R. B. Atkin et al., "Point Defects and Sintering of Lead Zirconate-Titanate", J. Am. Ceram. Soc., Vol.54, pp.265~270, 1971
 [10] B. Jaffe and W. R. Cook, "Piezoelectric Ceramics", Academic Press, pp.154~158, 1971

저 자 소 개



류 기 원(柳 基 元)

1962년 2월 4일생. 1985년 광운대 공대 전자재료공학과 졸업. 1997년 동 산업정보대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 1994년 동 대학원 전자재료공학과 졸업(공학). 현재 여주전문대 전자과 조교수



이 성 갑(李 成 甲)

1963년 5월 1일생. 1985년 광운대 공대 전자재료공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전자재료공학과 졸업(공학). 현재 서남대 공대 전자공학과 전임강사



배 선 기(裵 善 基)

1950년 4월 9일생. 1976년 숭실대 공대 전기공학과 졸업. 1979년 연세대 산업대학원 졸업(석사). 1989년 광운대 대학원 전자재료공학과(공학). 현재 시립인천대 공대 전기공학과 교수



이 영 화(李 永 熙)

1950년 9월 23일생. 1973년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1975년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1985~86년 Penn. State MRL 객원연구원. 현재 광운대 공대 전자재료공학과

교수. 당학회 편집위원