

BLN - PZT 세라믹의 2차 전기광학 특성

류기원*, 박인길*, 배선기**, 이영희*
* 광운대학교 전자재료공학과, ** 인천대학교 전기공학과

Quadratic Electrooptic Properties of the BLN - PZT Ceramics

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

* Dept. of Electronic Materials Eng. Kwangwoon Univ.

** Dept. of Electrical Eng. Incheon Univ.

ABSTRACT

Optical and quadratic electrooptic properties were studied for some compositions (BLN/PZ/PT = 9.0/70/30, 9.0/65/35, 8.5/70/30, 8.5/65/35) of the two-stage sintered BLN-PZT ceramics. Effective birefringences(Δn), quadratic electrooptic coefficients(R) and half-wave voltages($V_{\lambda/2}$) were measured with electric field and temperature. Also, switching times and contrast ratios were measured.

1. 서론

Lasr를 통해 가간섭적인 광(coherent light)을 얻을 수 있게 됨에 따라 광의 전달특성을 변조시킬 수 있는 광변환소자의 필요성이 날로 급증하고 있으며, 이러한 광변환소자는 광대역 아날로그 광통신 시스템, 디지털 정보 기록 시스템 및 광신호 처리를 위한 switching 분야 등에서 널리 사용되고 있다. 현재 광변환소자의 개발에는 전기광학효과, 자기광학효과 및 광탄성효과 등이 사용되고 있으나 Pb(Zr,Ti)O₃계 세라믹을 이용하여 외부에서 인가되는 전계에 의해 매질의 굴절율을 변화시켜 입사되는 광의 편광, 세기, 진폭, 위상 등을 제어하는 전기광학 변환기가 가장 많이 연구되고 있다. 일반적으로 전기광학효과는 전기광학 기억효과, 1차 전기광학효과 및 2차 전기광학효과로 구분되어지며, 이중 2차 전기광학효과는 인가전계에 따라 유효굴절률이 2차 함수적으로 변화하는 현상으로 광서터, 광변조기 등에 적용되고 있다.[1][2]

따라서 본 연구에서는 투광성 BLN-PZT 세라믹에 대해 행한 기존의 연구결과[3]를 토대로 하여 2차 전기광학효과를 나타내는 조성 (BLN/PZ/PT = 9.0/70/30, 9.0/65/35, 8.5/70/30, 8.5/65/35)을 선택한 후, 2단소성법[4]에 의해 시편을 제작하였으며, 광변조기로서의 응용가능성을 관찰하기 위해 파장, 인가전계에 따른 광투과도, 유효굴절률의 온도 의존성, 반파장 전압, 2차 전기광학계수, 스위칭 시간, contrast ratio 등의 2차전기광학 특성 및 광변조 특성을

측정하였다.

2. 실험

2.1 시편의 제작

본 연구에서는 시편의 조성식 $x\text{Ba}(\text{La}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3 - (1-x)\text{Pb}(\text{Zr}_y\text{Ti}_{1-y})\text{O}_3$ ($x=0.085, 0.09[\text{mol}], y=0.70, 0.65[\text{mol}]$)에 따라 각 시료를 평량한 후, 일반 산화물 혼합법에 의해 분말을 제조하였다. 제조된 분말을 900[°C]에서 2[hr] 동안 하소한 후, 1차 진공 핫프레스와 2차 분위기 소결을 조합한 2단 소성법으로 투광성 BLN-PZT 세라믹을 제작하였다.

2.2 광변조소자의 제작

전기광학 특성 및 광변조 특성의 측정을 위해 Aluminum 교차지 전극이 형성된 시편 양면에 그림 1과 같이 편광축이 상호 수직인 2매의 sheet polarizer를 부착시켜 광변조소자를 제작하였다.

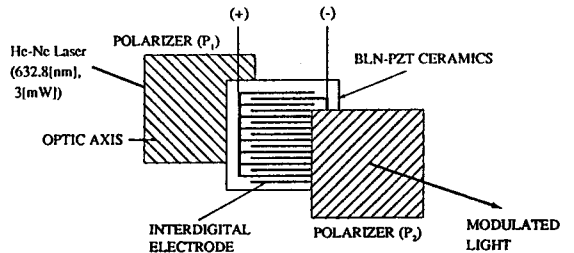


그림 1. 광변조소자의 구조

2.3 측정

인가전계에 따른 상지연(phase retardation, Γ)은 그림 2의 측정 장치도를 이용하여 구하였다. 전계를 인가하지 않은 경우, 시

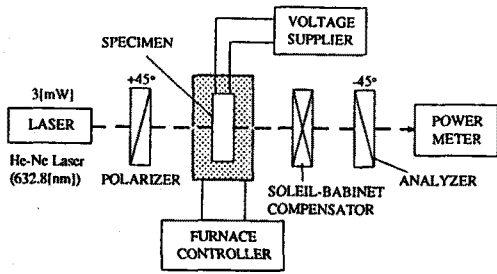


그림 2. 전계 및 온도에 따른 상지연 측정장치도

편은 거시적인 자발분극(net spontaneous polarization, ΣP)이 0인 광학적 등방성(optical isotropy)의 특성을 갖게 되며, 편광자(+45°)와 검광자(-45°)의 광축이 상호 수직인 관계로 시편을 통과한 선편광(linearly polarized light)이 검광자를 통과하지 못하는 완전소광(extinction) 상태를 이루게 된다. 이 때 전계를 인가하게 되면, 시편은 인가전계 방향에 평행한 이상광선(extraordinary ray)의 굴절율(n_e)과 인가전계 방향에 수직인 상광선(ordinary ray)의 굴절율(n_o)이 다르게 되어 광학적 이방성(optical anisotropy)의 특성을 나타내게 되며, 입사된 선편광은 시편 통과 후 두 광선 사이의 위상차에 기인하여 타원편광(elliptical polarized light)으로 변형된다. 이와 같이 인가전계에 의해 발생된 위상차는 Soleil-babinet compensator(O4 SBM 001, Melles Griot Co., Ltd.)를 사용하여 보상하였으며, compensator의 마이크로-메타가 지시하는 값으로 부터 상지연 값을 구하였다.

전계 및 온도에 따른 유효복굴절(effective birefringence, Δn)은 앞의 상지연 결과와 식(1)을 이용하여 계산하였다.

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

여기서, d : 시편의 두께 [μm]

시편의 2차 전기광학계수 R 은 식(2)를 이용하여 계산하였다. (n : 시편의 굴절율)

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

제작한 광변조소자의 스위칭 특성은 He-Ne laser(3[mW], NEC), 파형 발생기(Synthesized Arbitrary Waveform Generator, Wavetack model 295), 증폭기(High Speed Amplifier, NF Electronic Instruments 4005) 및 광검출기(Photometer, Spectra Co., Ltd.)를 그림 3과 같이 연결하여 측정하였다.

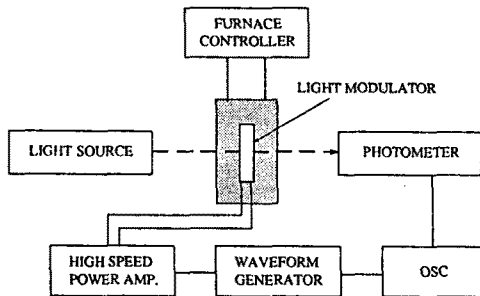


그림 3. 스위칭 특성 측정장치도

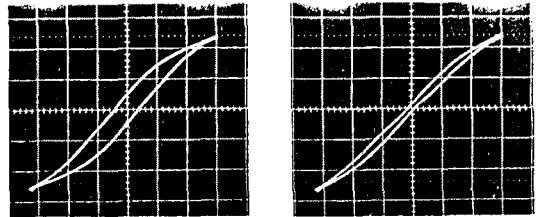
인가전계에 따른 광변조소자의 최대 투과광 세기와 최소 투과광 세기의 비를 나타내는 contrast ratio는 식(3)을 이용하여 계산하였다.

$$\text{Contrast ratio} = \text{Intensity}_{\text{ON}} / \text{Intensity}_{\text{OFF}} \quad (3)$$

여기서 $\text{Intensity}_{\text{ON}}$ 과 $\text{Intensity}_{\text{OFF}}$ 는 각각 반파장전압을 인가한 ON상태에서의 투과광 세기와 인가전압을 제거한 OFF 상태에서의 투과광 세기이다.

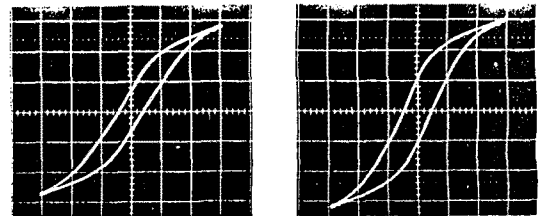
3. 결과 및 고찰

사진 1은 강유전 분역들의 전계의존성을 관찰하기 위해 Sawyer-Tower 회로를 이용하여 측정된 BLN-PZT 시편의 조성에 따른 이력곡선을 나타낸 것이다. 일반적으로 능면체정계 대칭성은 strain-relieving 71°, 109°분역벽을 형성하며, 인가전계에 따라 8개의 분극 가능한 축을 갖게 되어 큰 분극효율을 나타내게 된다.[5] 따라서 능면체정계의 결정구조를 갖는 8.5/65/35 시편에서 가장 큰 포화분극과 비교적 큰 잔류분극 및 항전계값이 관찰되었으며, 9.0/65/35 시편의 경우 전형적인 slim-loop의 이력특성을 나타내었다.



(a) 9.0/70/30

(b) 9.0/65/35



(c) 8.5/70/30

(d) 8.5/65/35

(횡축(E): 5.8kV/cm/div. 종축(P): 10 $\mu\text{C}/\text{cm}^2/\text{div.}$)

사진 1. BLN-PZT 시편의 조성에 따른 이력곡선

그림 4는 BLN-PZT 시편의 조성 및 인가전계에 따른 유효복굴절을 나타낸 것으로 사진 1의 이력곡선에서 관찰할 수 있는 바와 같이 8.5/65/35 시편의 경우 잔류분극 및 항전계 특성에 기인하여 전계를 제거하여도 잔류 유효복굴절이 존재하였으며, 전계에 따른 유효복굴절은 큰 이력현상을 나타내었다. 반면 전형적인 slim-loop의 이력특성을 나타내는 9.0/65/35 시편에서는 인가전계에 따라 유효복굴절이 2차 함수적으로 변화하였으며, 잔류 유효복굴절은 존재하지 않았다.

참고 문헌

1. J. Wilson et al., "Optoelectronics, An Introduction 2nd Edition", Prentice Hall, pp.76-112, 1989
2. G. H. Haertling et al., "Electrooptic Ceramics", Applied Solid State Science Vol.4, Academic Press, pp.137-233, 1974
3. 이영희 등, "준강유전 BLN-PZT 세라믹의 광변조 특성", 대한전기학회 춘계 학술연구 발표회 논문집, pp.1-4, 1993
4. K. Okazaki et al., "Electrical, Optical and Acoustic Properties of PLZT Ceramics by Two-Stage Processing", Ferroelectrics, Vol.10, pp.195-197, 1976
5. H. M. O'Bryan et al., "Enhanced Ordering of Ferroelectric Domains in PLZT Ceramics", Am. Ceram. Soc. Bull., Vol.51, pp.479-485, 1972
6. A. Sternberg, "Transparent Ferroelectric Ceramics: Properties and Applications", Ferroelectrics, Vol.91, pp.53-67, 1989

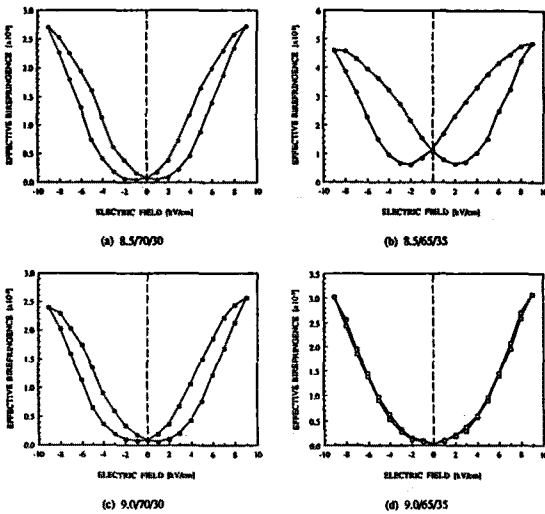


그림 4. BLN-PZT 시편의 조성 및 전계에 따른 유효복굴절

표 1은 본 연구에서 제작한 BLN-PZT 시편의 전기광학 특성 및 광변조 특성을 나타낸 것으로 기존의 전기광학 세라믹에 비해 양호한 전기광학 특성을 지니고 있으며[6], 특히 9.0/65/35 시편의 경우 가장 우수한 특성을 나타내었다.

표 1. BLN-PZT 세라믹의 전기광학 특성 및 광변조 특성

Composition (BLN/PZT)	Transmittance [%], at 900nm	R ($\times 10^{-16} [m^2/V^2]$)	V_{π} [V]	Light intensity		ON-OFF ratio
				ON state	OFF state	
8.5/70/30	64	5.33	143	0.72	0.0045	160
8.5/65/35	67	-	148	0.75	0.03	25
9.0/70/30	65	5.87	152	0.73	0.006	118
9.0/65/35	62	6.13	136	0.68	0.0027	252

4. 결 론

BLN-PZT 세라믹을 2단 소성법으로 제작한 후, 2차 전기광학 특성 및 광변조 특성을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전계가 증가함에 따라 전조성 모두 유효복굴절이 2차 함수적으로 증가하는 2차 전기광학 특성을 나타내었으며, 2차 전기광학계수는 9.0/65/35 시편에서 $6.17 \times 10^{-16} [m^2/V^2]$ 의 최대값을 나타내었다.

2. 반파장전압은 전조성에 걸쳐 136~152[V]의 양호한 값을 나타내었으며, 특히 9.0/65/35 시편의 경우 136[V]의 가장 낮은 구동전압에서 입사광의 세기를 ON-OFF시킬 수 있었다.

3. 9.0/65/35 시편을 이용하여 제작한 광변조소자의 contrast ratio는 252로 가장 양호한 값을 나타내었다.