

論 文
34~10~4

PLZT세라믹의 전기광학 특성

Electrooptic Characteristics of PLZT Ceramics

朴 昌 燁* · 朴 泰 坤** · 鄭 益 案***
 (Chang-Yub Park · Tae-Gone Park · Ik-Che Chung)

Abstract

In this paper transparent PLZT ceramics for the composition of 9/65/35 (La/Zr/Ti) are fabricated using hot-press and the possibility of application to optical shutter is examined by obtaining the On-Off characteristics of specimens.

The ferroelectric E-P hysteresis loop exhibits slim loop suitable for the quadratic electrooptic effect.

Measurements of the electrooptic effect show that specimens have the quadratic electrooptic effect but the light intensities as functions of electric field exhibit butterfly type hysteresis curves because of its slightly large saturation remanent polarization and coercive field. On-Off characteristics are obtained by electric fields of -6kV/cm and $+2\text{kV/cm}$.

As a result of experiments, 9/65/35 PLZT ceramics can be applied to optical shutter but construction with other composition which has more slim hysteresis loop is desired for obtaining the Off state by zero electric field.

1. 서 론

압전재료인 $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ 강유전체 세라믹에 Bismuth 를 첨가하면 투광성을 나타내며 광산란효과를 갖는다는 사실이 발견된 이후 세라믹의 광투과도 개선과 그 전기광학효과에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다.¹⁾ 특히 Lanthanum을 첨가하여 핫프레스 방법으로 제조한 $(\text{Pb}, \text{La})(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ 세라믹은 그 조성비와 제조조건에 따라서 1차전기광학(Pockels)효과, 2차전기광학(Kerr)효과, 광기억효과 및 광산란효과를 가지며 가해진 전계 및 전기적 분극방향에 의하여 세라믹 전체 또는 일부 영역의 광축(optic axis) 방향을 쉽게 조종할 수 있으므로 우수한 전기광학 재료로서 주목 받고 있다.²⁾ 이러한 PLZT 세라믹은 광셔터, 광변조기, 광기억소자, 영상축적 및 표시기, 데이터 입력소자, 그리고

광전압센서 등 다양한 응용기기에 적용할 수 있다.³⁾ 그러나 다결정물질이므로 투명하게 제조하기 위하여 핫프레스를 사용하고 적절한 분위기조성을 하여 PbO의 증발을 억제하고 기공을 제거하여 고밀도로 소결하여야 하는 어려움이 있다.

본 논문에서는 핫프레스를 사용하는 3가지 방법으로 2차전기광학효과를 갖는 투명한 PLZT 세라믹을 제조하여 그 강유전 E-P 이력곡선을 관찰하고 잔류분극 및 전계의 변화에 따른 전기광학특성을 측정하여 광셔터에의 응용가능성을 시험하여 보았다.⁴⁾

2. 광셔터의 동작 원리

PLZT 세라믹은 각 그레인 내의 자발분극 P_s 의 방향이 광축(optic axis)에 해당되어 열적소극된 상태에서는 거시적인 광학적 등방성이지만 전계가 가해지면 P_s 가 전계방향으로 배열하여 도메인을 형성하고 이 분극방향이 광축이 되는 1축성 이방성(anisotropic)인 물질이 된다. 이 물질내를 통과하는 빛을 광축에 평행한 성분인 E 파(extraordi-

*正 會 員 : 延世大 工大 電氣工學科 教授 · 工博
 **正 會 員 : 弘益工專大 電氣科 助教授 · 工博
 ***正 會 員 : 延世大 大學院 電氣工學科 博士課程
 接受日字 : 1985年 7月 5日

nary ray)와 광축에 수직성분인 O 파 (ordinary ray)의 둘로 나눌 때 E 파와 O 파 방향의 굴절율이 서로 다르므로 복굴절 (birefringence) 현상을 나타낸다.⁵⁾ 즉 복굴절 $\Delta n = n_E - n_O$ 이며 PLZT 세라믹은 포화분극상태에서 $n_E < n_O$ 로서 -복굴절성이며 $\Delta n \approx 0.64 \Delta n_0$ 이 되며 $-4 \sim -10 \times 10^{-3}$ 정도의 값을 갖는다.⁶⁾ 그러므로 E 파의 속도가 O 파의 속도보다 커지며 두께가 t 인 시편중을 통과하여 나오는 두파는 서로 위상차를 가져 상 지연 (phase retardation) 소자의 역할을 하게 된다. 이때 상 지연은 $\Gamma = \Delta n \cdot t$ 로서 복굴절 Δn 과 시편의 두께 t 의 곱으로 주어지므로 복굴절 Δn 이 크거나 두께가 두꺼울수록 상 지연이 커진다. 이러한 PLZT 세라믹에 전계를 가하여 복굴절을 변화시킬 수 있으며 이 복굴절율의 변화에 의해 E 파와 O 파의 위상차가 조종된다.⁷⁾

$L_a / Z_r / T_i$ 의 비가 9/65/35 인 PLZT 세라믹의 2 차전기광학효과를 이용하면 그림 1과 같은 Kerr 셀 구조에 의해 광서터의 기능을 수행할 수 있다. 그림 1에서 선형편광기 (linear polarizer)를

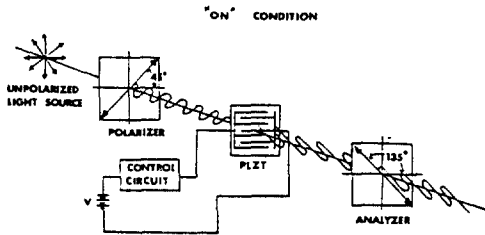


그림 1. 광서터의 구조

Fig. 1. Structure of optical shutter.

통해 시편에 들어오는 빛은 위상이 동일한 E_O 와 E_E 의 두 정현파의 합으로 생각할 수 있으며 복굴절성을 갖는 시편을 통과하여 나오는 두파는 각각

$$E_O = E_Y \sin(\omega t - \alpha_1)$$

$$E_E = E_Z \sin(\omega t - \alpha_2)$$

로서 O 파와 E 파는 위상차 $\delta = \alpha_1 - \alpha_2$ 를 가지며 이 두파의 합은

$$\sin^2(\alpha_1 - \alpha_2) = \frac{E_O^2}{E_Y^2} + \frac{E_E^2}{E_Z^2} - \frac{2E_O E_E}{E_Y E_Z} \cos(\alpha_1 - \alpha_2)$$

가 된다. 이 식으로부터 위상차 δ 에 따른 편광형태를 구해보면 그림 2와 같다. 전극간에 전계가 가해지지 않은 경우 그림 2(a)와 같이 위상차 $\delta = 0$ 로서 편광각이 변하지 않으므로 편광기와 90°의 각도로 놓여진 검광기 (analyzer)를 빛이 통과하지 못하여 OFF 상태가 된다. 그러나 전극간에 전계가 가

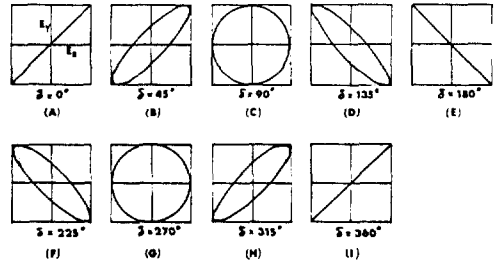


그림 2. 상 지연에 의한 편광

Fig. 2. Polarization by phase retardation.

해지면 세라믹은 광서터소자의 역할을 하여 $\delta = 45^\circ$ 와 90° 일 경우 그림 2(b), 2(c)와 같이 투과하는 빛을 각각 타원 또는 원형편광 시키므로 그 일부가 검광기를 통과한다. 전계를 적절히 조종하여 $\delta = 180^\circ$ 가 되면 그림 2(e)와 같이 선형편광되며 편광각이 90° 회전하여 반파지연판으로서 검광기를 통과하는 빛이 최대가 되고 ON 상태가 된다. 그러나 δ 가 180°를 넘게 되면 다시 검광기를 통과하는 빛이 감소하게 되어 360°에서 그림 2(i)와 같이 다시 OFF 상태가 된다.

본 실험에서는 이러한 원리로 단일 전극갯을 갖는 PLZT 시편을 제작하여 광서터를 구성하고 전계 및 잔류분극에 따른 투과광량의 ON-OFF 상태를 구하여 그 응용가능성을 실험하였다. 또한 두께가 두꺼운 시편으로 광서터를 구성하여 광로 (optical path)가 길어 상 지연이 커지고 위상차 δ 가 180°를 넘게 되므로 투과광량이 감소하는 현상을 찾아보았다. 이러한 광서터는 강한 선풍으로 부터 안구를 보호하는 안구보호경, 사진기의 셔터, 입체현미경, 의료용 입체텔레비전 등 다양한 분야에 응용될 수 있다.

3. 실험방법

본 연구에서 전기광학 특성측정에 사용된 시편은 조성인 ($Pb La_{0.09}$) ($Zr_{0.65} Ti_{0.35}$) O_3 로서 그림 3과 같은 3가지 방법으로 준비하였다.⁸⁾ 그림 3에서 압축성형 (cold pressing) 하는 과정까지는 동일한 조건으로 하였다. 99.5% 이상의 순도를 갖는 PbO, ZrO_2, TiO_2 및 La_2O_3 분말을 전자천평으로 평량하여 알루미늄 유발에서 증류수와 함께 6시간 동안 혼합분쇄하여 건조시키고 850°C에서 1시간 30분 1차열처리한 후 다시 6시간 혼합분쇄하여 200°C의 오븐에서 급속건조시켜 결함제 없이 3000

psi 로 압축성형하였다. 이렇게 성형된 시편을 3 가지 방법에 의해 2 차소성하였다. 그중 O₂ 핫프레스법은 알루미늄아 몰더에 성형된 시편을 넣어 O₂ 가스 분위기 내에서 3000 psi 의 압력을 가하며 1140°C 에서 16시간 핫프레스 하였으며 나머지 두가지 방법은 O₂ 가스 분위기 또는 진공분위기에서 단시간 핫프레스하여 자연냉각 시킨 시편을 PbO의 증발을 억제하기 위해 PbZrO₃ 분위기 분말을 채운 3중 알루미늄아 도가니에 넣어 1250°C에서 45시간 동안 열처리하는 2단소성법이다. 이렇게 제조된 시편중 밀도가 높고 투명도가 양호한 시편을 선택하여 먼저 샌드페이퍼와 거친 SiC 연마제로 표면을 고르게 한 후 0.5 μm, 0.05 μm의 알루미늄아 연마제를 단계적으로 거쳐 표면에서의 산란이 최소가 되도록 하였다. 또한 연마된 시편의 왜형을 제거하기 위하여 600°C에서 아닐링하고 spectrophotometer (UV-240, Shimadzu 사)를 이용하여 200 (nm)에서 900 (nm) 까지의 투과율을 측정하였으며 전자현미경 (SEM)을 이용하여 그레인 상태를 관찰하였다. 상온에서의 강유전 E-P이력곡선을 관찰하고 포화잔류분극과 항전계를 측정함으로써 강유전특성에 크게 의존하는 PLZT 세라믹의 전기광학특성을 예측하여 보았다. 이때 조성비에 따른 강유전 E-P 이력곡선의 비교를 위하여 La/Zr/Ti의 비가 7/65/35 그리고 12/40/60 인 시편을 보통소성법으로 제조하였다. 이 방법은 그림 3의 제조공정에

서 압축성형까지의 과정을 동일하게 하고 각 조성의 시편을 하나의 분위기 도가니에 넣어 1250°C 에서 45시간 동안 대기중 열처리하는 방법으로서 핫프레스를 사용하지 않아 높은 투과도를 얻을 수 없으나 각 시편간에 동일한 제조조건을 부여할 수 있다. 이렇게 제조된 시편의 표면을 연마한 후 양면 전체에 은전극을 부착하여 E-P 이력곡선을 Sawyer-Tower 회로를 이용하여 오실로스코우프로 관찰 하였다.⁹⁾ 또한 분극정도에 따라 결정되는 전기광학효과를 측정하기 위해 잔류분극 상태를 임의로 조정하는 방법을 모색하였으며 정전용량과 전기기계 결합계수의 변화를 IRE 규정의 공진 반공진법에 의해 측정함으로써 잔류분극이 조정됨을 확인하였다.¹⁰⁾ 그림 4의 고저항 R₁ 을 통하여 항전계 E_c 보다 큰 + 전계를 가하면 그림 5의 P₁ 상태가 되며 전계를 제거하고 시편양단을 단락하면 P₂의 포화잔류분극상태가 된다. S₁ 과 S₂를 이용하여 적절한 - 전계를

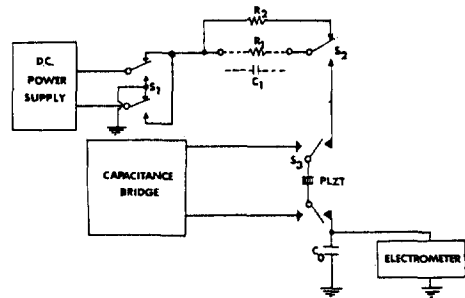


그림 4. 잔류분극에 따른 측정회로

Fig. 4. Measuring circuit as a function of remanent polarization.

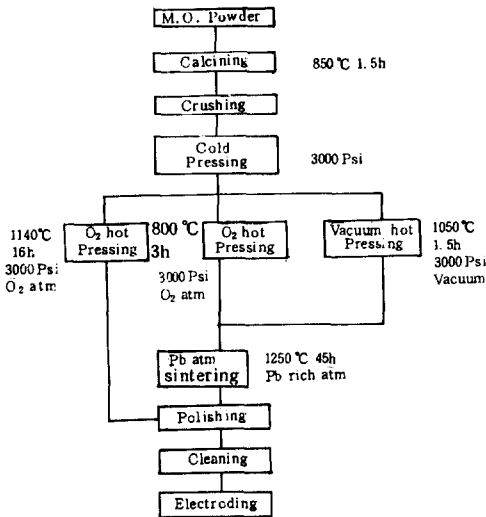


그림 3. 시편의 제조과정

Fig. 3. Manufacturing process of samples.

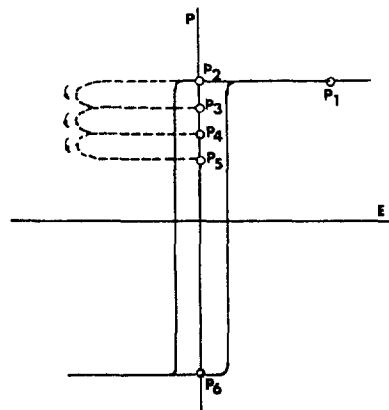


그림 5. 잔류분극의 변화

Fig. 5. Variation of the remanent polarization.

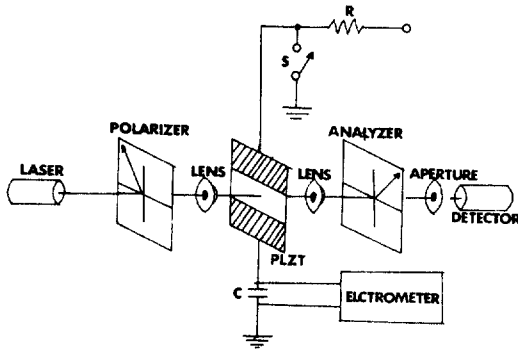


그림 6. 전기 광학특성 측정배열

Fig. 6. Arrangement for the electro-optic measurement.

C₁을 통해 가해진 후 전계를 제거하고 시편양단을 단락하면 P₃의 잔류분극상태가 되며 이 과정을 반복하면 역포화잔류분극 P₆의 상태에 도달한다. S₃를 이용하여 각 잔류분극상태에 따른 측정을 하였다.

전기 광학특성은 단일 전극갯을 갖는 PLZT 시편을 이용하여 그림 6과 같은 Kerr 셀 구조에 의해 측정하였다. 광원은 2 [mw]의 6328 Å He - Ne 레이저를 사용하였고 시편에 가해진 전계방향과 45°의 각도로 선형편광기를 조종하고 편광기와 검광기 간의 각도가 90°를 이루도록 하였다. 시편에서 산란되는 빛은 렌즈를 이용하여 측정기의 수광면에 집속시켰다. 각 잔류분극상태에 따른 투과광량은 광도 측정기 (ANDO 사)를 이용하여 측정하였고 전계에 따른 투과광량의 변화는 인가전계를 오실로스코프의 X축에 그리고 측정기로 사용한 광전소자에서 유기된 전압을 증폭기로 증폭하여 Y축에 연결하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 시편의 제조

PLZT 세라믹이 투명하게 제조되기 위해서는 기공이 없고 밀도가 높아야 하므로 열처리 도중 기공을 생성시키는 요인이 되는 PbO의 급속한 증발을 억제시켜주는 것이 가장 어려운 문제이다.

본 실험에서 사용한 그림 3의 3 가지 방법에 의하여 제조된 시편은 모두 7.70 [g/cm³] 이상의 밀도를 가졌으며 파장에 따라 동일한 두께에서 그림 7과 같은 투과도를 나타내었다. 세 가지 시편 모두 기초흡수대가 380 [nm] 부근에서 나타났으며 파장이 커질수록 투과도가 증가하는 특성을 가졌다. 세 가지 시편의 제조과정에 따른 미세구조를 전자현미경으로 관찰한 결과는 그림 8과 같다. 그림 8(a)는

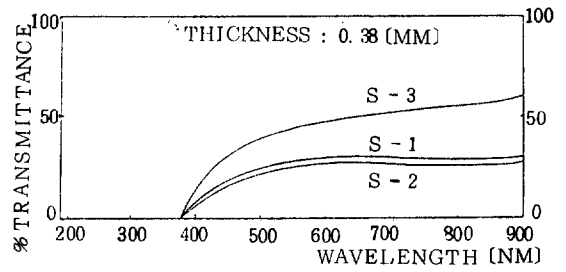


그림 7. 파장에 따른 투과도

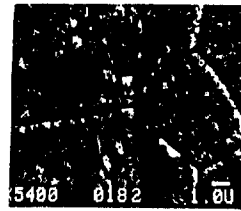
Fig. 7. Transmittance as a function of wavelength.



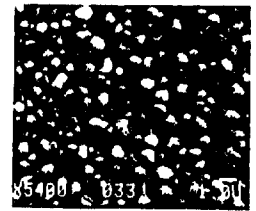
(a) 1140°C, 16h, O₂ hotpress



(b) 800°C, 3h, O₂ hotpress



(c) 800°C, 3h, O₂ hotpress— (d) 1050°C, 1.5h, vacuum hotpress
1250°C, 45h, 2nd sintering



(e) 1050°C, 1.5h, vacuum hotpress—
1250°C, 45h, 2nd sintering

그림 8. 시편의 미세구조

Fig. 8. Microstructure of samples. (SEM: X5400)

S-1의 미세구조로서 그레인 간에 기공이 있으며 이물질이 나타나고 있다. 그림 8 (b)는 800°C에서 핫프레스한 시편으로서 그레인 성장이 미처 되지 못하였으며 큰 기공이 형성되어 있음을 알 수 있다. 이 시편을 2단 소성하여 만들어진 S-2의 미세구조는 그림 8(c)와 같이 그레인이 크고 투명하여 지지만 기공이 완전히 제거되지 못하고 남아 투과도를 저해하고 있다. 그림 8(d)는 1050°C에서 진공중 핫프레스 한 시편으로서 그레인이 균일하게 성장되고 큰 기공이 없음을 알 수 있으며 이 시편을

다시 2 단 소성하여 만들어진 S-3은 그림 8(e)와 같이 기공이 없고 그래인간의 결합이 단단하여 그림 7에서와 같이 가장 투명하였다. 또한 S-1의 제조방법은 고온에서 장시간 핫프레스하는 과정에서 알루미늄 몰타와 시편과의 반응등 제조상 난점이 많으며 S-2의 방법은 핫프레스 온도가 너무 낮아서 액상 PbO 에 의한 기공제거가 되지 않아 큰 기공이 남게 되므로 S-3의 방법과 같이 적당한 온도로 단시간 핫프레스하여 소결초기에 액상 PbO의 증발을 억제시키고 다시 분위기 도가나내에서 높은 온도로 장시간 열처리하여 액상 PbO를 적당한 속도로 충분히 증발시켜 잔류기공을 제거하는 2단소성방법이 가장 용이한 방법으로 생각된다.

4.2 E-P이력곡선과 잔류분극의 변화

전기광학특성의 측정에 사용된 3가지 시편은 모두 같은 조성비로서 유사한 강유전특성을 갖게되므로 그중 S-2의 이력곡선을 그림 9에 제시하였다. 전계가 가해지면 전계의 방향으로 자발분극 P_s 가 이동하여 도메인을 형성하므로 분극도가 높아지지만 전계를 제거하면 포화잔류분극이 아주 작은 값으로 남게되므로 이 시편이 2차전기광학효과를 가지고 있음을 알 수 있었다. 그러나 그림 9는 완전한 slim loop에 비해 포화잔류분극과 항전계가 약간 크므로 전계제거시 완전한 소극이 되지 않고 약한 역방향 전계를 가해 주어야만 잔류분극이 0이 되므로 전기광학특성의 측정에서도 최대 전계를 가했을때 최대 복굴절율에 의한 최대광량이 나타나고 최소복굴절율에 의한 최소투과광량을 얻기 위해 역방향의 낮은 전계를 가해주어야 함을 예측할 수 있다. 비교를 위하여 La/Zr/Ti의 비가 7/65/35,

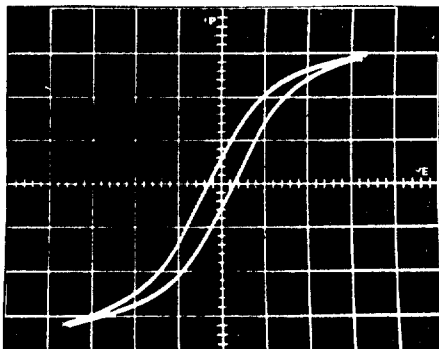
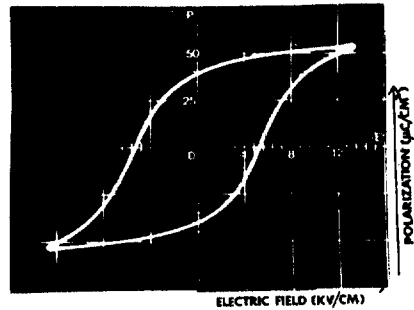


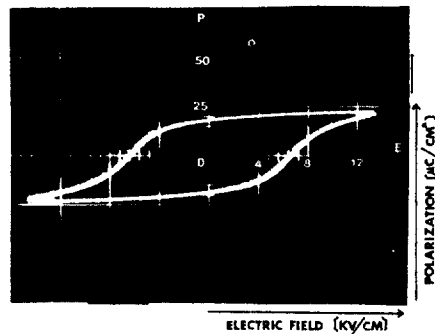
그림 9. S-2의 E-P 이력곡선
Fig. 9. E-P hysteresis loop of S-2.

12/40/60으로서 각각 광기억효과와 1차전기광학효과를 갖는 조성비의 시편을 실험방법에서 설명한 보통 소성법으로 제조하여 그 E-P 이력곡선을 그림 10에 나타내었다. 7/65/35 시편의 이력곡선은 전계를 제거하여도 포화잔류분극에 해당되는 복굴절율을 기억시켜둘 수 있는 광기억효과에 적합하며, 12/40/60 시편은 항전계가 크므로 그 항전계 이하의 전계에 대한 복굴절율이 선형적으로 변화하는 1차전기광학효과에 적합한 강유전특성을 가지고 있음을 알았다.¹⁴⁾

잔류분극상태를 변화시키며 정전용량을 측정된 결과는 그림 11과 같다. 그림에서 횡축의 electrometer 전압은 분극도에 비례하는 값으로서 잔류분극상태를 나타내며 최대잔류분극에서 정전용량이 최대값을 갖고 전기적소극상태에서 정전용량이 최소가 되었다. 또한 전기기계결합계수도 최대잔류분극에서 최대이고 전기적소극상태에서 0이 되었다. 이와 같은 결과로부터 잔류분극을 임의로 변화시킬 수 있음을 확인하였으며 전기광학특성의 측정에도 동일한 방법을 적용시켰다.



(a) 7/65/35



(b) 12/40/60

그림 10. 상온의 히스테리시스 곡선
Fig. 10. Hysteresis loops at room temperature.

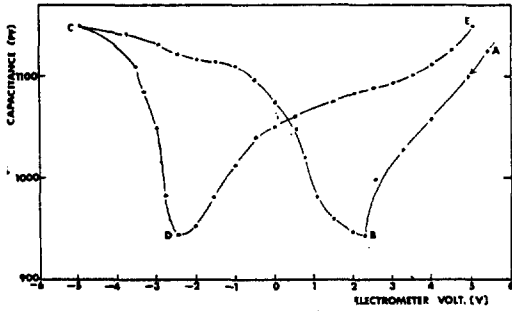


그림 11. 잔류분극에 따른 정전용량

A, E: +최대분극, B, D: 전기적 소극상태,
C: -최대분극

Fig. 11. Capacitance versus remanent polarization A, E: +max. polarization B, D: electrically depoled state C: -max. polarization.

4.3 전기광학 특성의 측정¹⁵⁾

측정에 사용된 시편은 La/Zr/Ti의 비가 9/65/35이며 전계를 가하여 분극이 되면 그 분극 방향이 광축인 1축성 이방성물질이 된다. 즉 세라믹의 분극상태에 따라서 복굴절율이 변화하고 복굴절율의 크기와 두께에 의해 상지연각이 결정되므로 그림 6의 Kerr 셀 구조에서 광도측정기에 도달하는 투과광량의 세기가 변화한다. 본 실험에서는 투과광량의 변화를 측정하여 광서터의 동작을 설명하였다. 3가지 시편의 잔류분극에 따른 투과광량은 그림 12, 13, 14와 같이 변화하였다. 동일한 조성비이므로 상지연각은 주로 두께에 크게 의존한다. 그림 12, 그림 13은 각각 두께가 0.38 [mm], 0.54 [mm]인 시편의 특성으로서 최대분극상태에서 최대의 투과광량과 전기적 소극상태에서 최소의 투과광량을 나타내었다. 즉 두께가 얇아서 최대분극상태에서도 상지연각이 180°를 넘지 않음을 알 수 있다. 그림 14는 시편의 두께가 1.24 [mm]로서 두꺼운 시편의 특성이며 -방향으로 분극포화시킨 경우의 투과광량이 잔류분극이 작아짐에 따라 처음에는 증가하다가 어떤 임의의 잔류분극상태에서부터 다시 감소하는 현상을 보이고 있다. 이것은 최대분극시 복굴절율의 변화는 동일하더라도 두께가 두꺼우므로 상지연각이 180°를 초과하여 그림 2 (F)와 같이 도리어 감소하게 되는 것이다. 그러나 +방향에서는 투과광량의 감소현상이 나타나지 않고 있는데 그 원인은 처음 분극포화를 시키기 위하여 -방향 고전계를 가했기 때문에 -방향으로의 분극은 용이하고 +방향으로의 분극이 어렵기 때문이며 그림 12에서

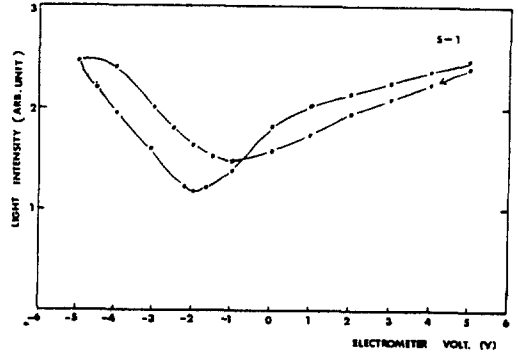


그림 12. 잔류분극에 따른 투과광량 (S-1)

Fig. 12. Light intensity versus remanent polarization (S-1).

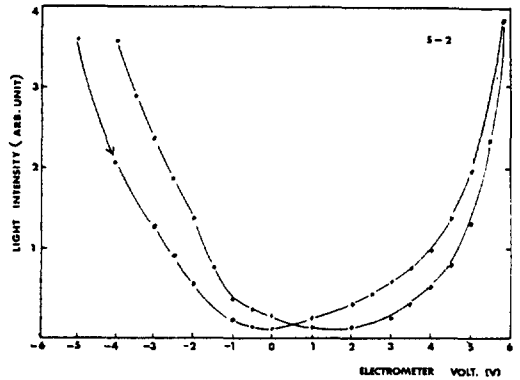


그림 13. 잔류분극에 따른 투과광량 (S-2)

Fig. 13. Light intensity versus remanent polarization (S-2).

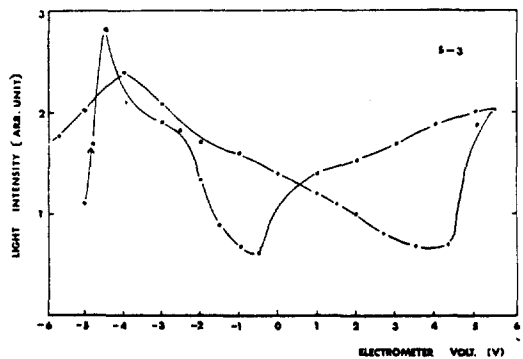


그림 14. 잔류분극에 따른 투과광량 (S-3)

Fig. 14. Light intensity versus remanent polarization (S-3).

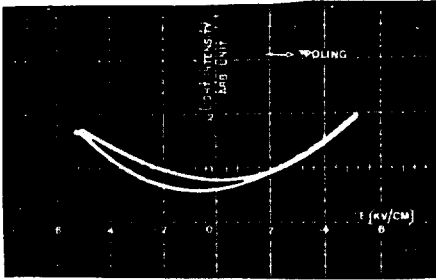


그림 15. 전계에 따른 투과광량 (S-1)
Fig. 15. Light intensity versus electric field (S-1).

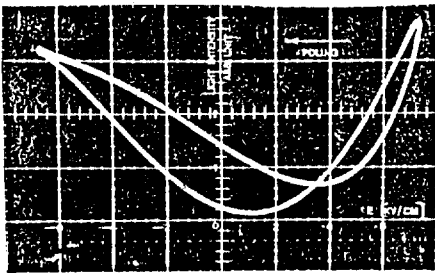


그림 16. 전계에 따른 투과광량 (S-2)
Fig. 16. Light intensity versus electric field (S-2).

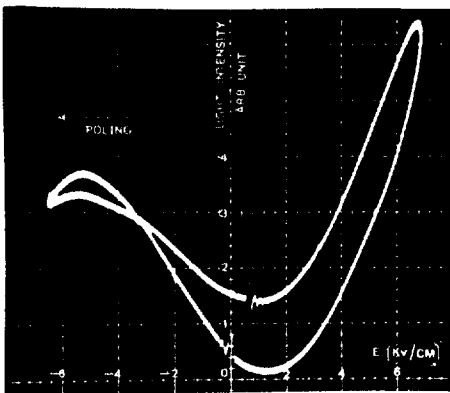


그림 17. 전계에 따른 투과광량 (S-3)
Fig. 17. Light intensity versus electric field (S-3).

전기적 소극이 되는 점 즉 최소의 투과광량이 나타나는 점이 -방향쪽에 치우쳐 있는 현상도 같은 이유로 설명할 수 있다.

전계에 따른 투과광량의 측정은 이에 앞서 잔류분극에 따른 측정을 먼저 하였기 때문에 어떤 한 방향으로 이미 분극이 된 상태에서 측정을 실시하였다. 그

러므로 그림 15, 16, 17의 측정결과에 분극방향을 화살표로 표시하였다. 그림 16의 경우 이미 -방향으로 분극이 되어있기 때문에 -방향으로의 소극 및 분극이 +방향 보다 쉽게 이루어지고 있음을 알 수 있었다. 만약 매 측정시 마다 열적소극한 후에 측정을 하였다면 그림 16의 나비형태 곡선의 좌우가 대칭이 되고 중앙교차점이 전계가 0인 중심에서 나타날 것이다. 또한 최소의 투과광량을 갖는 꼭지점이 돌로 나뉘어져 나타나는 이유는 동일시편의 E-P이력곡선인 그림 9에서 포화잔류분극과 항전계가 약간 크기 때문에 복굴절율이 최소가 되는 전기적소극상태를 얻기 위해 반대방향의 낮은 전계를 가해 주어야만 하기 때문이다. 그러나 그림 16에서 분극포화 이전의 곡선을 전계의 자승에 대한 투과광량으로 그려보면 직선으로 나타나므로 분극포화 이전의 영역에서 2차전기광학효과를 가짐을 확인할 수 있었다. 그림 17의 -방향에서 투과광량이 감소하는 것도 역시 시편의 두께가 두껍기 때문에 일어나는 현상으로서 상지연각이 그림 2 (F)와 같이 180°를 초과하기 때문이며 분극방향의 반대인 +방향에서는 같은 현상이 나타나지 않았다.

이상의 실험에서 예를들어 시편 S-2를 이용하여 광서터를 제작한다면 그림 16에서와 같이 -6 (kv/cm) 이상의 전계에서 ON 상태를 얻고 +2 (kv/cm)의 전계에서 OFF 상태를 얻을 수 있다. 그러나 한 방향의 전계를 가하여 ON이 되고 그 전계를 제거했을 때 OFF가 되는 것이 이상적인 광서터의 동작이므로 E-P 이력곡선이 보다 완벽한 slim-loop 가 되도록 조성비를 조종하여야 함을 알 수 있었다.

5. 결 론

La/Zr/Ti의 비가 9/65/35인 PLZT 전기광학세라믹을 제조하고 그 강유전 및 전기광학특성을 측정된 결과 다음의 결론을 얻었다.

1) 핫프레스를 이용하고 적절한 분위기에 의하여 PbO의 증발을 억제시켜주면 밀도가 높고 투과도가 우수한 PLZT세라믹을 제조할 수 있다.

2) 강유전 E-P 이력곡선은 slim-loop에 가깝게 나타나지만 광서터에 응용하기에는 포화잔류분극과 항전계가 약간 크다.

3) 전계에 따른 투과광량의 변화는 나비형태의 이력곡선을 가지며 투과광량이 분극포화 이전에 전계의 자승에 비례하여 2차전기광학효과를 갖는다.

4) 광서터에 응용할 경우 한쪽 방향의 고전계와

그 반대방향의 저전계를 가하여야 ON - OFF 특성을 얻을 수 있으므로 한가지 전계에 의해 동작되는 이상적인 광서터는 그 E - P 이력곡선이 완전한 slim-loop 가 되는 성분으로 구성하여야 한다.

참고문헌

- 1) G.H. Haertling, "Hot Pressed Ferroelectric Lead Zirconate Titanate Ceramics for Electrooptical Applications," *Am. Ceram. Soc. Bull.*, 49, 564 (1970).
- 2) C.E. Land, P.D. Thacher and G.H. Haertling, *Applied Solid State Science Vol. 3* (Academic Press, New York, 1972).
- 3) G.H. Haertling and C.E. Land, "Recent Improvements in the Optical and Electrooptic Properties of PLZT Ceramics," *IEEE Trans. Sonics & Ultrasonics*, 19, 269 (1972).
- 4) J.T. Cutchen, J.O. Harris, Jr. and G.R. Laguna, "PLZT Electrooptic Shutters: Applications," *Appl. Opt.*, 14, 1866 (1975).
- 5) F.W. Sears, *Optics*. (Addison-Wesley, London, 1949), pp. 169-94.
- 6) K. Carl and K. Geisen, "Dielectric and Optical Properties of a Quasi-Ferroelectric PLZT Ceramic," *Proc. IEEE*, Vol. 61, No. 7, 967 (1973).
- 7) F.A. Jenkins and H.E. White, *Fundamentals of Optics*. (McGraw-Hill, London, 1969), pp. 544-72.
- 8) K. Okazaki, "Developments in Fabrication of Piezoelectric Ceramics," *Ferroelectrics*, 41, 77 (1982).
- 9) J.K. Sinha, "Modified Sawyer and Tower Circuit for the Investigation of Ferroelectric Samples," *J. Sci. Instrum.*, 42, 696 (1965).
- 10) C.E. Land, G.W. Smith and C.R. Westgate, "The Dependence of the small Signal Parameters of Ferroelectric Ceramic Resonators upon State of Polarization," *IEEE Trans. Sonics & Ultrasonics*, 11, 8 (1964).
- 11) G.H. Haertling, C.E. Land, "Hot-Pressed (Pb, La) (Zr, Ti)O₃ Ferroelectric Ceramics for Electrooptic Applications," *J. Am. Ceram. Soc.*, 54, 1 (1971).
- 12) C.E. Land and P.D. Thacher, "Ferroelectric Ceramic Electrooptic Materials and Devices," *Proc. IEEE*, 57, 51 (1969).
- 13) G.H. Haertling, "Improved Hot-Pressed Electrooptic Ceramics in the (Pb, La) (Zr, Ti)O₃ System," *J. Am. Ceram. Soc.*, 54 (1971).
- 14) P.D. Thacher, "A Linear Electrooptic Effect in Ferroelectric Ceramics: PLZT 12/40/60," *IEEE Trans. Sonics & Ultrasonics*, 19, 147 (1972).
- 15) G.R. Laguna, "Switching Speed Improvements in PLZT Shutters," *Ferroelectrics*, 50, 73 (1983).