

BLN-PZT 9.0/65/35 세라믹을 이용한 광변조기의 스위칭 및 분광감도 특성 -PZT계 세라믹을 이용한 광 modulator의 개발-

논문
8-1-6

Switching and Spectral Response Characteristics of the Light Modulator using BLN-PZT 9.0/65/35 Ceramics

류기원*, 이영종**, 박인길**, 이영희**, 박창엽***

(Ki-Won Ryu, Young-Jong Lee, In-Gil Park, Young-Hie Lee, Chang-Yub Park)

Abstract

After making the light modulator using the BLN-PZT 9.0/65/35 specimen which has the slim-loop hysteresis characteristics and quadratic electro-optic characteristics, switching and spectral response characteristics were investigated.

As the results of switching characteristics of the light modulator, it was found that the transmitted light intensity was modulated by both AC and pulse voltage. From the possibility of the selective transmission of the RGB(Red, Green, Blue) spectrum with electric field, the application for the light modulator, light shutter and color filter was expected.

Key Words(중요용어) : $Ba(La_{1/2}Nb_{1/2})O_3-Pb(Zr,Ti)O_3$, Light modulator(광변조기), Two-stage sintering method(2단 소성법), Switching characteristics(스위칭 특성), Spectral response characteristics(분광감도 특성).

1. 서 론

최근 광통신 및 광정보처리 기술이 발달함에 따라 입사되는 광의 세기, 진폭, 편광, 위상 또는 주파수를 외부에서 인가되는 제어신호에 의해 고속으로 변조하는 광변조 기술이 광전자공학(optoelectronics)분야에서 중요한 연구과제중 하나로 부각되고 있다.

일반적으로 광을 변조하는 방법에는 광원에 직접 제어신호를 인가하여 광신호를 변조시키는 직접 변조방식(direct modulation method)과 광원으로 부터 연속광(continuous light)이 입사되는 상태에서 제어신호에 의해 광을 변조시키는 전용소자, 즉 광변조기를 별도로 사용하는 간접 변조방식

(indirect modulation method)이 있다.¹⁾ 반도체 레이저의 동작전압을 변조시키는 직접 변조방식은 변조특성이 우수한 반면 인가되는 전류에 따라 레이저 내부의 광굴절율이 변하게 되며, 그 결과 발진파장의 스펙트럼이 넓어지는 chirping현상이 발생하여 변조된 광신호의 전파특성(propagation characteristics)이 왜곡되는 단점이 있다.²⁾ 이에 반해 간접 변조방식은 별도의 광변조기 사용에 따른 삽입손실(insert loss) 및 장치의 대형화가 단점으로 지적되고 있으나 하나의 광원을 사용하여 다중 변조(multiplex modulation)가 가능하며, chirping현상을 무시할 수 있다는 장점으로 인해 오늘날 광변조방식의 주류를 이루고 있다.

간접 변조방식에서는 초기에 mirror, mechanical chopper, shutter등의 기계식 광변조기를 사용하여 왔으나 기계적 제어에 따른 절환속도(switching speed)의 한계, 장치의 대형화 및 낮은 신뢰성으로 인해 최근에는 PZT계 강유전 세라믹의 전기광학 효과(electro-optic effect), 자기광학 효과(magneto-optic effect) 및 음향광학 효과(acousto-optic

* : 여주전문대학 전자과
** : 광운대학교 공과대학 전자재료공학과
*** : 연세대학교 공과대학 전기공학과
접수일자 : 1994년 6월 25일
심사완료 : 1994년 10월 20일

effect)를 이용하여 광을 변조시키는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 전기광학 효과를 이용한 경우 소자 제작의 단순화, 장치의 소형화 및 낮은 구동전압등의 장점을 지녀 이를 이용한 광변조기가 가장 많이 연구되고 있다.³⁾

따라서 본 연구에서는 Ba(La_{1/3}Nb_{1/3})O₃-Pb(Zr,Ti)O₃ 세라믹에 대한 실험결과⁴⁾를 근거로 하여 전형적인 slim-loop 이력특성과 2차 전기광학 특성을 나타내는 BLN-PZT 9.0/65/35 조성을 선택하여 광변조기를 제작하였으며, 스위칭 특성(switching characteristics) 및 분광감도 특성(spectral response characteristics)을 측정하여 light shutter, color filter 등 광변조기로서의 실용가능성에 대해 고찰하였다.

2. 실험

2-1. 광변조기의 제작

시편의 조성식 0.09Ba(La_{1/3}Nb_{1/3})O₃-0.91Pb(Zr_{0.65}Ti_{0.35})O₃에 따라 시료를 평량한 후 1차 진공 핫프레스(1150[°C], 1[hr] at 10⁻³[torr])와 2차 분위기 소결(1270[°C], 20[hr])을 조합한 2단 소성법(two-stage sintering method)으로 투광성 BLN-PZT 세라믹을 제작하였다.⁴⁾ 2차 분위기 소결시 PbO의 휘발을 억제하고자 PbZrO₃+PbO₂(10[wt.%])의 분위기 분말을 사용하였다.

제작한 시편 양면에 그림 1과 같이 알루미늄 교차지 전극을 E-beam 증착하였으며, 광축(optic axis)이 상호 수직인 2매의 편광판(sheet polarizer, Polaroid Co., Ltd.)을 부착시켜 광변조기를 제작하였다.⁴⁾

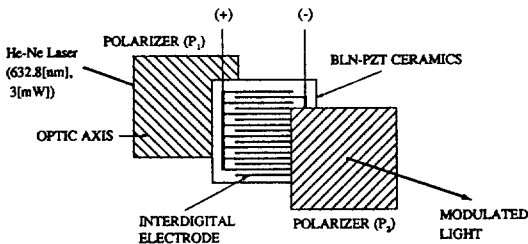


그림 1. 광변조기의 구조

Fig. 1. Structure of the light modulator.

2-2. 측 정

광변조기의 스위칭 특성은 광원(Halogen lamp, JCR 10H-GI, 12[V] 100[W]), 파형발생기(Synthesized Arbitrary Waveform Generator, Wavetak model 295), 증폭기(High Speed Amplifier, NF

Electronic Instruments 4005) 및 광검출기(Photometer, Spectra Co.,Ltd.)를 그림 2와 같이 연결하여 측정하였다. 광변조기에 인가한 펄스 주파수는 10~100[Hz]이며, 인가 펄스파형과 투과광의 출력파형을 오실로스코프(HP 54501A)상에서 관찰하였다.

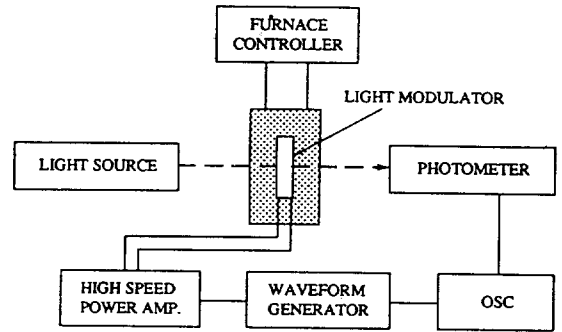


그림 2. 스위칭 특성 측정장치

Fig. 2. Measuring apparatus for the switching characteristics.

제작한 광변조기의 전압에 따른 투과 스펙트럼의 변화를 관찰하고자 그림 3의 장치를 이용하여 분광감도를 측정하였다. 텅스텐-요오드 램프(3[A], 300[W])의 백색광을 광변조기에 입사시킨 후, 전압에 의해 변조된 투과광의 스펙트럼을 4000~8000[Å]의 파장범위에서 10[Å]씩 스캐닝하여 X-Y recorder에 기록하였다.

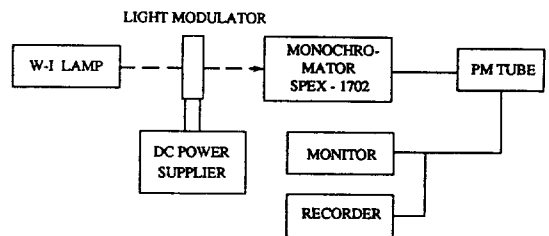
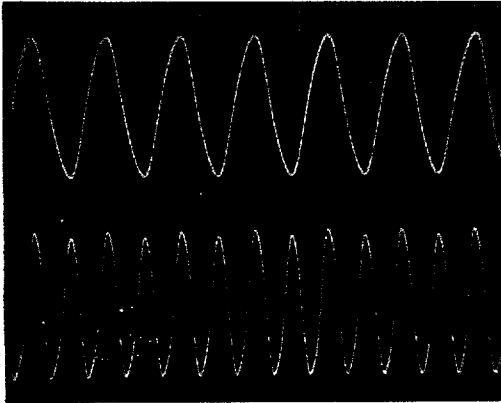


그림 3. 전계에 따른 분광감도 측정장치

Fig. 3. Measuring apparatus for the spectral response with electric field.

3. 결과 및 고찰

교차지 전극이 형성된 BLN-PZT 9.0/65/35 시편의 양면에 광축이 상호 수직인 편광판을 부착하여 광변조기로 제작한 후, 스위칭 특성을 측정하기 위해 교류전압에 따른 투과광량의 변화를 관찰하였으며, 그 결과는 사진 1과 같다.



Applied voltage (top) : 272[V_{p,p}],

Modulated light intensity (bottom) : Arb. unit

사진 1. BLN-PZT 9.0/65/35 시편을 이용하여 제작한 광변조기의 교류전압에 따른 스위칭 특성

Photo. 1. Switching characteristics with AC voltage of the light modulator made by the BLN-PZT 9.0/65/35 specimen.

상부파형은 광변조기에 인가한 전압파형으로 첨두치가 272[V], 주파수가 60[Hz]인 교류전압이며, 하부파형은 전압에 따라 광변조기를 통과하여 광검출기에서 검출되는 투과광량의 출력파형이다. 사진으로 부터 반파장전압에 해당하는 각각의 첨두 전압치에서 최대의 투과광량이 관찰되었으며, 전압이 0인 상태에서는 투과광량이 관찰되지 않았다.

제작한 광변조기의 펄스주파수에 따른 스위칭 특성은 그림 2의 장치를 사용하여 측정하였으며, 그 결과는 그림 4와 같다.

상부파형은 투과광의 출력파형이며, 하부파형은 광변조기에 인가된 펄스전압 파형으로 펄스크기는 반파장 전압에 해당하는 140[V]로 고정한 상태에서 주파수를 10~100[Hz]까지 변화하였다. 주파수가 10[Hz]인 경우 투과광량은 0.68[mW]와 0.0027 [mW]의 범위에서 펄스전압 파형과 유사한 형태로 스위칭되었으나 주파수가 증가할수록 분역 회전 (domain switching)의 이완시간(relaxation time)이 증대하여 최대 투과광량의 감소와 함께 출력파형의 스위칭 특성이 비대칭적으로 왜곡되는 경향을 나타내었다. 또한 반파장 전압 이외의 전압을 인가한 경우에서도 복굴절율의 변화에 기인하여 투과 광량이 감소하는 결과를 나타내었다.

그림 5는 제작한 광변조기의 전계에 따른 분광 감도 특성을 나타낸 것이다.

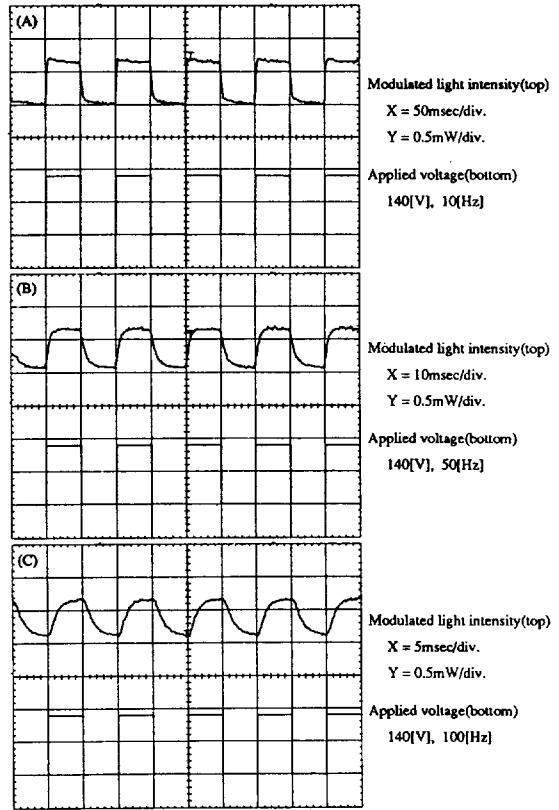


그림 4. BLN-PZT 9.0/65/35 시편을 이용하여 제작한 광변조기의 펄스주파수에 따른 스위칭 특성

Fig. 4. Switching characteristics with pulse frequency of the light modulator made by the BLN-PZT 9.0/65/35 specimen.

전압을 인가하지 않은 경우 시편의 광학적 등방성(optical isotropy)에 기인하여 광변조기에 입사된 백색광이 투과되지 않는 완전소광상태(extinction state)를 이루었으나 전압을 인가함에 따라 광학적 이방성(optical anisotropy)이 증가하여 편광 상태의 변화에 의해 투과 스펙트럼이 관찰되었다. 광변조기에 3[kV/cm]의 전계를 형성시킨 경우 blue파장에 해당하는 투과 스펙트럼이 관찰되었으며, 전계가 증가됨에 따라 green 및 red파장의 투과 스펙트럼이 확장되는 경향을 나타내었다.

그림 6은 제작한 광변조기의 전계에 따른 상 지연(phase retardation) 및 스펙트럼의 선택적 투과 특성을 나타낸 것이다.

일반적으로 광변조기내에 형성되는 전계 E와 상 지연 Γ 사이의 관계는

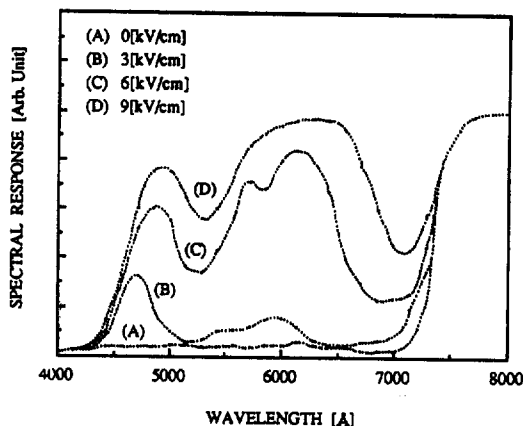


그림 5. BLN-PZT 9.0/65/35 시편을 이용하여 제작한 광변조기의 전계에 따른 분광감도 특성

Fig. 5. Spectral response characteristics with electric field of the light modulator made by the BLN-PZT 9.0/65/35 specimen.

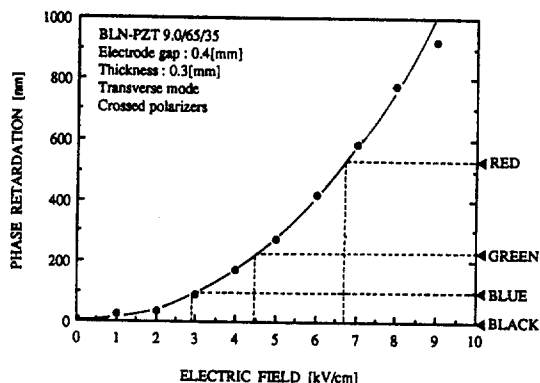


그림 6. BLN-PZT 9.0/65/35 시편을 이용하여 제작한 광변조기의 전계에 따른 상지연 및 스펙트럼의 선택적 투과 특성

Fig. 6. Phase retardation and selected transmission spectrum with electric field of the light modulator made by the BLN-PZT 9.0/65/35 specimen.

$$\Gamma = \overline{\Delta n} \cdot t \quad (1)$$

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

로 부터 다음과 같이 나타낼 수 있으며,⁵⁾

$$E = \left[\frac{2\Gamma}{n^3 t R} \right]^{1/2} \quad (3)$$

여기서, Γ :상지연[nm], $\overline{\Delta n}$:유효복굴절($\times 10^{-3}$), t :시편의 두께[μm], n :시편의 굴절율, E :인가전계[kV/cm], R :시편의 2차 전기광학계수($\times 10^{-16}\text{m}^2/\text{V}^2$)

전압 인가에 의해 특정 상지연값에 해당하는 전계를 형성함으로써 투과 스펙트럼을 선택적으로 얻을 수 있다.

그림 6과 식(3)의 결과로부터 본 연구에서 제작한 광변조기에 2.88, 4.42, 6.64[kV/cm]의 전계가 형성되면 각각 100, 235, 530[nm]의 상지연을 발생하여 Blue, Red, Green파장의 스펙트럼이 선택적으로 투과됨을 알 수 있으며, 이 결과는 color filter로의 응용가능성을 시사하고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 전형적인 slim-loop 이력특성과 2차 전기광학 특성을 나타내는 BLN-PZT 9.0/65/35 시편을 이용하여 광변조기를 제작한 후, 스윗칭 및 분광감도 특성을 측정하였다.

주파수가 10[Hz]인 경우 투과광량은 0.68[mW]와 0.0027[mW]의 범위에서 펄스전압파형과 유사한 형태로 스윗칭되었으나 주파수가 증가할수록 분역 회전(domain switching)의 이완시간(relaxation time)이 증대하여 최대 투과광량의 감소와 함께 출력파형의 스윗칭 특성이 비대칭적으로 왜곡되는 경향을 나타내었다. 또한 반파장 전압 이외의 전압을 인가한 경우에서도 복굴절율의 변화에 기인하여 투과광량이 감소하는 결과를 나타내었다.

제작한 광변조기의 전계에 따른 분광감도 측정 결과, 전압 인가에 의해 3[kV/cm]의 전계를 형성시킨 경우 blue파장에 해당하는 투과 스펙트럼이 관찰되었으며, 전계가 증가함에 따라 green 및 red의 투과 스펙트럼이 확장되었다. 또한 광변조기에 2.88, 4.42, 6.64[kV/cm]의 전계가 형성되면 각각 100, 235, 530[nm]의 상지연이 발생하여 400~8000[Å]의 파장 범위에서 RGB(Red, Green, Blue) 스펙트럼이 선택적으로 투과됨을 관찰할 수 있었다.

■ 본 연구는 1990년 한국과학재단의 연구비 지원에 의한 결과임. (과제번호 : 90-0100-04)

1. 井筒雅之, "超高速 光エレクトロニクス, 培風館, pp. 189~215, 1991.
2. C. Rolland et al., IEEE Light, Trans. Syst., Vol. 16, 1992.
3. 山崎攻, 和佐清孝, "光エレクトロニクス材料マニュアル", 光産業技術振興協會, pp. 205~209, 1988.
4. 이영희 등, "준강유전 BLN-PZT 세라믹의 광변조 특성", 한국전기전자재료학회지, Vol. 6, No. 5, pp. 454~460, 1993.
5. R. C. Buchanan, "Ceramic Materials for Electronics : Processing, Properties and Application", Marcel Dekker, Inc., pp. 192~198, 1990.

저자소개

류기원



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

이영희



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

박인길



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

박창엽



1935년 2월 13일생. 1958년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1960년 연세대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1973년 연세대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 연세대 공대 전기공학과 교수.

이영종



1951년 2월 17일생. 1980년 광운대 공대 응용전자공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전자재료공학과 졸업(공학). 1993년-현재 여주전문대 조교수.