

## 두 개의 모드가 간섭하는 광도파로를 이용한 편광 분리기의 제작

안기관\* 김상국 최상삼

(한국과학기술원 응용광학연구실)

## 요 약

두 개의 모드가 간섭하는  $\text{LiNbO}_3$  광도파로를 이용하여 기존의 편광 분리기와는 달리 두 개의 전극에 의해 두 편광의 출력을 임의로 조절할 수 있는 편광 분리를 제작하였으며, 두 전극에 각각 52V, 72V 를 걸어주어 20dB 이상의 분리도를 얻을 수 있었다.

## 1. 서 론

최근 들어 여러가지 형태의  $\text{Ti:LiNbO}_3$  광도파로를 이용한 광소자들이 구동전압이 낮다는 것과 변속속도가 빠르다는 장점 때문에 광통신 및 고상정보처리 장치에 응용하기 위해 많이 연구되어왔다. 이러한 소작로서 편광분합기는 coherent communication<sup>(1)</sup> 및 Optical fiber gyro<sup>(2)</sup>, LDV(Laser Doppler Velocimeter)<sup>(3)</sup> 등의 센서에서 매우 중요한 부분이기 때문에 지금까지 금속박막을 덮은 도파로<sup>(4)</sup> X-고차영<sup>(5)</sup> Y-분리영<sup>(6)</sup> 및 역  $\Delta\beta$  영 방향성 결합기를 이용한 편광분합기<sup>(7)</sup> 등 많은 형태의 편광분리기가 제안되었다. 그러나 이 소작들은 광손실이 크든지 또는 원리상 한개의 변수로 두 편광을 분리하는 방법이므로 분리도가 낮다는 결점을 가지고 있어서 실제 정보처리 장치에 응용하기에는 많은 문제점이 있었다. 본 연구에서 우리는 두 개의

전극을 사용하여 각각의 편광을 독립적으로 조절하여 두 편광의 분리도가 아주 높은 편광분리기를 제작하였다.

## 2. 편광분합기의 동작 원리

이 소작의 기본구조는 그림(1)에서와 같이 두 개의 모드가 유지될 수 있는 도파로와 한 개의 모드만이 유지될 수 있는 도파로가 양단에 Y 형태로 덧붙여진 모양을 가진 TMI (two mode interference) 도파로로 처음에는 WDM(wavelength division multiplexer) 소작로서 제안되었다.<sup>(8)</sup>

두 개의 모드가 존재하는 부분에서는 낮은 차수 모드와 높은 차수 모드 모드가 서로 간섭하여 빛의 에너지 분포가 도파로 내의 한 쪽 부분으로 치우치게 된다. 그런데 두 모드의 전파속도가 다르므로 도파로 내의 에너지 흐름은 직선이 되지 못하고 그림(1)에서처럼 굴곡되어 진행하므로써 출력쪽 두 도파로로 나가는 빛의 세기가 다르게 된다. 이때 굴곡의 반주기를 결합길이(Lc; coupling length)라 부르며 이 결합길이는 도파되는 빛의 파장에 따라 다르며, 또한 편광 방향(TE, TM 모드)에 대해서도 다르다. 이러한 이유로 이 소작이 WDM 이나 편광분리기로 이용될 수 있다.

\* 이 발표논문은 과학기술처 특정과제와 관련입니다.

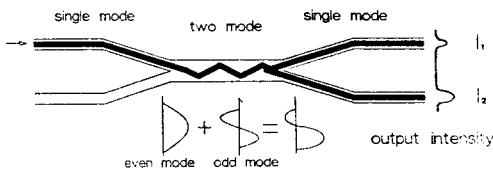


Fig.1 Two mode interference(TMI) waveguide

두, 모드의 전파상수를 각각  $K_0, K_1$  라 할때, 결합길이  $L_c$  와의 관계는

$$L_c = \pi / (K_0 - K_1) \dots\dots\dots (1)$$

로 표현된다.

도파로의 굴절률을 변화시키면 두, 모드의 전파상수위 차 ( $K_0 - K_1$ ) 즉,  $L_c$ 가 변하며, 따라서 출력쪽 두, 도파로로 나가는 빛의 세기의 비도 변화시킬 수 있다.

두, 편광(TE, TM)을 출력쪽 두, 도파로로 나누기 위해서는 TE 모드와 TM 모드에 대한 굴절률을 다르게 변화시켜야만 된다. 두, 편광에 대한 굴절률 변화를 다르게 하기 위해서 도파로를 lithium niobate 의 X-축 방향으로 만든다. 그리고 전극을 그림(2)처럼 두쌍을 없어서 전기장의 방향이 lithium niobate 의 Y- 축 방향 ( $E_2$ ) 과 Z- 축 방향 ( $E_3$ ) 이 되도록 한다. 그렇게 하므로써 TE 와 TM 광에 대한 굴절률 변화는

$$\begin{aligned} \Delta n(TE) &= (r_{22} E_2 + r_{23} E_3) n_o^3 / 2 \\ \Delta n(TM) &= (r_{33} E_3 n_o^3) / 2 \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

이 된다. 그러므로 먼저 TM 모드에 대해서  $E_3$  로 조절하고 그 다음  $E_2$  로 TE 모드를 조절하므로써 두, 편광을 두, 개의 출력단으로 분리할 수 있다.

본 편광분리가 높은 분리도를 가지기 위해서는 출력단의 두, 도파로에서의 전파상수가 같아야 한다.<sup>(9)</sup> 또한 도파로에 가해진 전기장

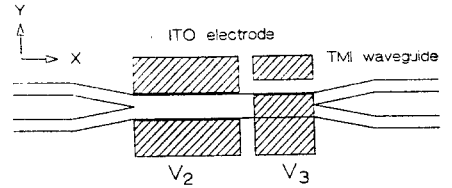


Fig.2 Electrode pattern

에 의해  $\text{LiNbO}_3$  의 광축이

$$\theta = (\tan^{-1}(2r_{42} E_2 (n_o^2 - n_e^{-2} + r_{22} E_2))) / 2 \dots (3)$$

만큼 회전하며, 이로 인해 전극 간격 1um 당 10V 의 전압이 인가되었을 때 30dB이상의 분리도를 기대할 수 없다. 그러므로 도파로를 제작할 때 전압을 가하지 않은 초기 상태에서 정상파 (ordinary wave 여기서는 TE 모드)가 될 수 있는 한 한쪽 도파로로만 나오도록 만드는 것이 필요하다. 그리고 두, 편광을 분리하는데 더 낮은 전압으로 동작시키기 위해서는 도파로와 전극의 길이가 길어야 하지만 실제 크기에는 제한을 받는다. 그러나 도파로의 제작 조건에 따라서 낮은 전압으로 동작시킬 수 있다. 그림(3)은 폭이 각각 5, 6, 8um 이고 Ti 두께를 25nm 에서 85nm 까지 증착하여 1000°C 에서 5시간과 10시간동안 확산시켜 만들었다고 가정할 도파로에, 인가된 전기장에 의해 도파로의 표면굴절률이  $5 \times 10^{-4}$  즉, 정상파 (ordinary wave) 에 대해  $E_2$  가 13V/um 만큼 가해졌을 때 전극길이 1mm 당  $L_c$  의 변화량(%)을 계산한 것이다.

이 그림으로부터 도파로의 폭이 같다 할지라도, 두, 개의 모드가 있을 수 있는 조건이라면 도파로의 굴절률이 작은 것이 같은 전기장의 세기에 대해 결합길이,  $L_c$  가 많이 변한다는 것을 알 수 있다. 그리고 도파로의 폭이 넓은 경우, 같은 전기장의 세기를 얻기 위해 높은 전압이

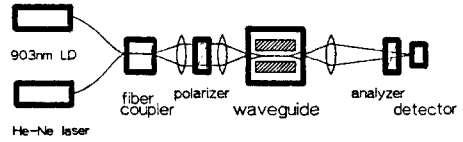
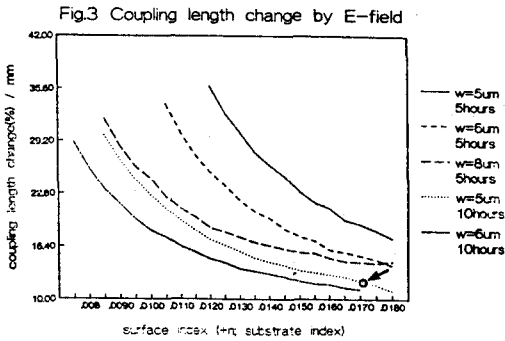


Fig. 4 Experimental setup

엄장치 정렬용으로 6328Å He-Ne 레이저를 이용하였다. 두 광원은 광섬유로 만든 광결합기를 이용하여 같은 광로를 가지게 하여, 먼저 He-Ne 레이저로 실험장치의 광학계를 눈으로 보면서 정렬시킨 후, He-Ne 레이저광을 차단하고 903nm의 광원으로 소자의 기능을 측정하였다.

필요할 뿐만 아니라 결합길이  $L_c$ 가 커져서 그에 따라  $L_c$ 의 변화량이 적으므로 더 높은 전압이 필요하게 된다는 것을 알 수 있다. 그림에서  $\theta$  표시가 우리가 실험한 도파로의 제작조건이다. 계산결과에 의하면 이 도파로는 표면의 전기장 세기가  $E=13V/\mu m$  일때 전극길이 11mm 당 11.4% 정도  $L_c$ 가 변하므로 전극길이가 9mm일 때 인가된 전압이 65V 이면 한쪽 도파로로 나오는 빛이 다른쪽 도파로에서 나오게 된다.

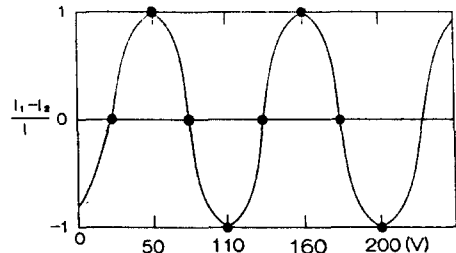


Fig.5 Variation of output light intensity by applied voltage  $V_2$ .  $I_1, I_2$ ; see fig.1

### 3. 제작 및 측정

도파로의 제작은 전체 도파로를 먼저 300Å의 Ti를 증착하고 다시 두개의모드가 있는 부분을 800Å의 Ti를 증착하여 1000°C의 따스한 Ar 분위기에서 10시간 동안 확산시켜서 만들었다. 도파로의 폭은 5 $\mu m$ 이며 두 모드 부분의 길이는 12mm, Y형 도파로의 사이각은 2°이며 전체 길이는 28mm로 만들었다. 앞의 (2)식에서 전기광학계수,  $r_{33}$ 의 크기가  $r_{22}, r_{23}$ 보다 크기 때문에  $V_2$ 를 인가하는 전극의 길이는 9mm,  $V_3$ 를 인가하는 전극의 길이는 3mm로 만들었다. 전극은 2000Å 두개의 IT0를 sputtering 하여 제작하였다.

측정장치는 그림(4)에 도해하였다. 광원은 903nm의 레이저 다이오드를 사용하였으며 실험

본 소자가 전압에 따라 결합길이  $L_c$ 의 변화율이 얼마인지 측정하기 위해서 길이가 9mm인 전극에 인가된  $V_2$ 를 변화시키면서 한쪽 도파로로 나온 TE 모드의 출력변화를 그림(5)에 나타내었다. 결합길이가 10% 변한다는 것은 그림(1)에서 1번 도파로로 나오는 빛이 2번 도파로로 나오는 것을 의미한다. 그림에서 보듯이 낮은 전압에서는 약 70V 당 결합길이가 한번 변하여 빛이 나오는 도파로가 바뀌는 것을 알 수 있으며 이 측정치는 앞절에서 계산된 값 (65V)과 비슷하다. 또한 전압이 증가할수록 결합길이를 한번 변화시키는 데 필요한 전압변화가 적었다. 그림(6)은 도파로에서 나오는 빛을 CCD camera를 통해 본 것으로

그림 (6-a) 는 외부 전압이 가해지지 않은 상태 ( $V_2=0V$ ,  $V_3=0V$ ) 에서 두 편광의 출력을 보여 주는 것이며 그림 (6-b) 는 전압이 걸린 상태에서 두 편광이 분리되어 나오는 것을 보여준다. 이 때의 전압은  $V_2=52V$ ,  $V_3=72V$  였으며 두 편광의 분리도는 20dB 이상이었다.

#### 4. 결과 및 논의

두 개의 모드가 간섭하는 광도파로 ( TMI waveguide ) 를 이용하여 편광분리기를 제작하였으며, 이때 전극은  $E_2$  ( X- 축 방향 ) 와  $E_3$  ( Z- 축 방향 ) 의 전기장이 형성되도록 부착하였다. 측정 결과, 두 개의 모드가 있는 부분에서 정상파 ( ordinary wave ) 가 길이 9mm 인 전극에 인가된 전기장이 14V/um ( $V=70$ ) 일때 도파로의 출력단이 바뀌는 것을 보았으며 이것은 이론적으로 계산된 값  $V=13V/um$  ( $V=65V$ ) 과 잘 일치하였다. 또한 본 편광분리기로 TE, TM 모드를 분리하는 데  $V_2=52V$ ,  $V_3=72V$  가 필요하였다. 종래의 도파로형 편광분리기가 하나의 변수로 두 편광을 분리하는 방법을 사용하는 반면, 본 편광분리기는 두 개의 변수 ( $E_2$ ,  $E_3$ ) 로 두 편광을 분리할 수 있는 소자이므로 이론적으로 높은 편광분리도를 기대할 수 있다. 본 편광분리기의 분리도는 20dB 이상이었다. 본 소자에 가해진 전극 간격당 전압이 10V/um 이상이므로 앞의 (3)식에서 알 수 있듯이 30dB 이상의 분리도는 가지지 않음을 알 수 있다. 그러나 앞에서 지적한 바와 같이 도파로의 설계에 따라 분리도를 향상시킬 수 있으며, 이것은 지금까지 제안된 어떠한 도파로형 편광분리기보다도 높은 분리도를 가질 것으로 기대된다. 또한 이러한 높은 분리도를 가진 소자를 모드변환기 ( mode convertor ) 와 결합시키므로

써 좁은 여과대역을 가진 광여과기의 제작도 가능 하리라 본다.

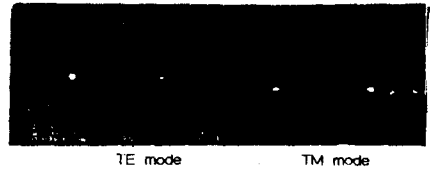


Fig.6-a Near field patterns of TE TM mode at  $V_2=0V$   $V_3=0V$



Fig.6-b Near field patterns of TE TM mode at  $V_2=52V$   $V_3=72V$

1. Edgar Voges and Andreas Neyer, Jour. of Light. Tech., Vol.LT-5, No.9, 1229 (1987).
2. William J. Minford, Ramon De Paula and Gail A. Bogert, Proceeding of OFS 1988 Vol.-2, 385 (1988).
3. H. Toda, M. Haruna and N. Nishihara, Proceeding of OFS 1986, 97 (1986).
4. Osamu Mikami, Appl. Phys. Lett., 36(7), 491 (1980).
5. Masamitsu Masuda and Gar Lam Yip, Appl. Phys. Lett., 37(1), 20 (1980).
6. Hirochika Nakajim, Tetsuo Horimatsu, Minoru Seino and Ippei Sawaki, IEEE Jour of Q.E., Vol.QE-18, No.4, 771 (1982).
7. R.C. Alferness and L.L. Buhl, Optics Letters, Vol.10, No.4, 140 (1984).
8. Seiji Ohno, Tetsuya Mizumoto and Yoshiyuki Naito, Proceeding of OEC '86, 24 (1986).
9. Kamel Goel and William S.C. Chang, IEEE of Q.E., Vol.QE-23, No.12, 2216 (1987).