

## Fiber-to-fiber Total Insertion Loss가 <6dB인 Ti:LiNbO<sub>3</sub> 광도파로 Pigtailling 및 도파모드 특성

Pigtailling and Guided-mode Properties of LiNbO<sub>3</sub> Optical Waveguide with Fiber-to-fiber 전체 Insetion Loss <6dB

김성구, 전자부품종합기술연구소  
윤형도, 전자부품종합기술연구소  
임영민, 전자부품종합기술연구소  
윤대원, 전자부품종합기술연구소  
한상필, 전자부품종합기술연구소  
유용택, 전남대학교 전자공학과

Seong-Ku Kim, Korea Electronics Technology Institute(KETI)  
Hyung Do Yoon, Korea Electronics Technology Institute(KETI)  
Sang Pil Han, Korea Electronics Technology Institute(KETI)  
Young Min Im, Korea Electronics Technology Institute(KETI)  
Dae Won Yoon, Korea Electronics Technology Institute(KETI)  
Yong-Tek Yoo, Dept. of Electronics Eng. Chunnam University

### Abstract

A low loss x-cut LiNbO<sub>3</sub> optical waveguide was fabricated by Ti in-diffusion and the guided-mode properties and total insertion loss of pigtailling with polarization maintaining fiber(PMF) were investigated and measured at optical wavelength 1550nm. For forming the waveguide, the parameters of diffusion Ti thickness, waveguide line-width, length, diffusion temperature, time and atmosphere were set 1400 Å, 8µm, 3.3cm, 1050°C, 8 hours and wet bubbled oxygen, respectively. and then After the polishing and pigtailling, it showed that total insertion loss was -4.1dB for TM mode, -5.5dB for TE mode, and mode size, that is, horizontal/vertical sizes were 13.8µm/18µm for TM mode, 9.6µm/6.5µm for TE mode.

### 1. 서론

일반적으로 집적광학소자용 LiNbO<sub>3</sub> 도파로를 제작하는 방법은 Ti 내부확산과 양자교환이 있으며, 내부확산방법은 LiNbO<sub>3</sub> 기판에 Ti 박막을 입힌 후 약 1000°C로 Ti을 고온 확산시켜 광도파로를 만드는 방법으로 고온 확산이라는 단점에도 불구하고 입력광의 편광에 관계없이 TM, TE 모드를 전부 도파시킬 수 있으며 굴절율 증가는 ~ 0.01 정도이다.

본 연구에서는 1mm 두께 x-cut LiNbO<sub>3</sub>(Casix #1, China)에 Ti을 확산하여 저손실 광도파로를 제작법을 확립하고 도파모드 특성을 연구하였으며 편광보존 파이버와 pigtailling하여 전체 삽입손실을 측정하였다. 확산 전 Ti 두께를 1400Å, 도파로선폭은 8µm single channel waveguide, 확산온도는 1050°C, 확산시간은 8 시간 및

확산분위기는 wet bubbled oxygen으로 제작하고 폴리싱하여 pigtailling한 결과, 도파로길이 3.3cm인 channel 도파로에 광파장 1550nm를 입사시켜, 전체 TM 모드 삽입손실 -4.1dB, TE 모드 삽입손실 -5.5dB를 얻었다. 이때 모드크기는 TM 모드는 수평 및 수직방향 13.8µm 및 8µm였고, TE 모드는 수평방향 9.6µm, 수직방향 6.5µm로 측정되었다.

### 2. 실험 및 결과

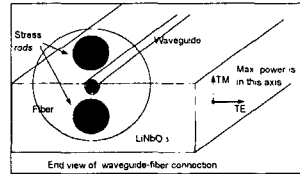
3-inch x-cut LiNbO<sub>3</sub> 기판을 DECONEX 로 깨끗이 세척한 다음 Ti을 E-beam 증착법으로 증착하고 두께 측정기(Surface Profiler, DEKTAK)로 두께를 측정한다. 그리고 사진식각공정을 사용하여 Ti 패턴을 에칭한

다음 깨끗이 세척하고 4인치 튜브확산로 확산영역에 위치시켜 1050℃로 확산을 진행한다. 확산 중 확산로에 유입되는 산소는 버블러를 통과하는데 이때 버블러온도는 95℃ 정도로 맞추고 출구쪽은 증류수를 매개로하여 버블링시킨다. 확산시간은 8시간이며 확산온도 오차는 +3~7℃이다.

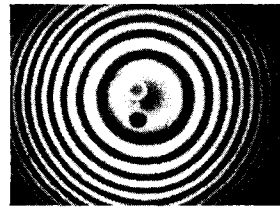
제작한 광도파로는 적절한 크기로 절단을 한 후 dummy block을 붙이고 연마과정을 거쳐서 도파실험 준비를 하게 된다. 도파실험은 미세정렬기위에 광도파로를 부착시키고 입력쪽에 0.6328 $\mu\text{m}$  헬륨네온레이저로 입사시켜 광도파로 위치를 확인한 후에 1550nm 광원으로 교체한다. 도파로 출력쪽은 40배율렌즈로 빔을 통과시켜 CCD 카메라에 그 도파모양을 받아 컴퓨터 스크린에 연결시킨다. 스크린에 투사된 모드는 TE 및 TM으로 분리하고 각각 모드에 대한 횡방향 및 종방향 크기를 구한다. 그리고 CCD 카메라를 제거하고 가시광선에서 적외선 1800nm 까지 검출가능한 비디콘으로 검출하여 그 광원의 세기를 측정, 광전송손실(propagation loss)을 산정하고, 전체삽입손실(insertion loss)은 도파로 입력 및 출력부에 편파보존 fiber 인 PM fiber를 모두 부착한 후 측정한다. Pigtailling은 도파로 입력을 PM 파이버로 정렬하고 굴절율 약 1.5인 매칭오일경 UV-Epoxy를 약간 묻힌 후 다시 압착하면서 정렬하여 UV 광원으로 조사한 후 굳힌다. 그리고 출력측과 위치를 바꾸고 피그테일링된 PM fiber의 한쪽 끝에 연결된 FC 접속단자를 1550nm 검출기(EXFO, Fiber optic tester)에 접속하여 도파광을 검출하도록하고 도파로 출력측에 PM fiber를 연결하는 피그테일링 작업을 반복한다. 광도파 모드크기 산정은 입력쪽에 PM fiber를 피그테일링하고 출력도파로쪽을 CCD로 관찰하여 산정하였다. 광파이버와 도파로 접속에 UV 에폭시(Electro-Lite 社, 미국)를 사용하였다.

그림 1는 광도파로에 PM fiber를 접속하는 방법과 페룰 끝면을 간섭무늬(간섭계형 fiber 단면측정기, Norand products社)로 관찰한 회절사진을 나타내었다. 광도파로에 접속되는 광 fiber 편광을 따라 최대광 power 가 전달되도록 하였다. 그림 2는 자체 제작한 지그를 사용하여 폴리싱한 시편의 단면사진과 지그 일부 사진을 나타내었다. 폴리싱 하기전에 시편의 도파로 표면에 절연막과 금속박막을 수  $\mu\text{m}$  형성하고 지그에 장착하여 폴리싱하게 된다. 그림 3은 도파로 측면 폴리싱면에 PMF를 부착한 사진이다. 에폭시에 더욱 견고한 구조를 형성하기 위해서 더미블럭을 추가로 붙였다. 페룰을 단면에 부착할 때 페룰과 단면과의 미세 간격이 존재하는데 본 실험에 의하면 페룰을 단면에 압착하기 보다는 어느정도 간격을 유지하였을 때 최대 광 power 가 전달되었다. 그림 4는 TE 모드를 도파시켰을 때 도파광 field profile 이다. 그림 4(b)에 contour map을 나타내었고 그림 (c), (d)에 횡방향 모드 및 종방향모드 크기를 나타내었다. 그림 5는 TM 모드에 대한 도파광 field profile이다. 광장 1550nm를 입사시켰을 때 모드크

기를 비교해 보면 TM 모드는 횡/종 방향크기가 13.8/8  $\mu\text{m}$  였고 TE 모드는 횡/종방향 크기가 9.6/6.5 $\mu\text{m}$ 를 얻었고 표 2에 나타내었다. fiber 축과 광도파로 기준점(광



(a)



(b)

그림 1. PM 파이버 접속 및 panda 패턴

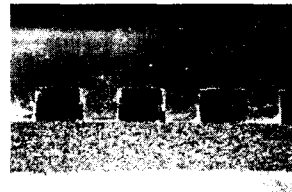


그림 2. 도파로 연마사진

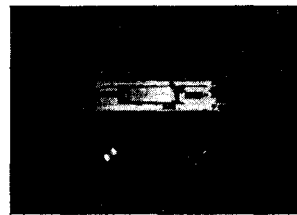
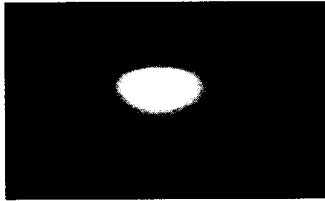


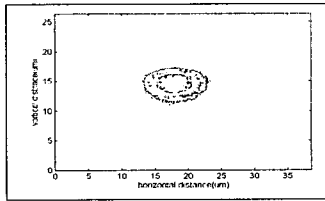
그림 3. 피그테일링 및 패키지

power max. point)을 일치시킬 경우 모드 부정합손실은 L: -0.36dB(TE), -0.58dB(TM)로서 입출력 양단의 손실을 포함시키면 전체 TM 모드 부정합손실은 -1.16dB, TE 모드 부정합손실은 -0.72dB를 나타내어 Fresnel 손실 1.3 dB 보다는 작았고, 따라서 TM/TE 모드 fiber to fiber 삽입손실이 -4.1dB/-5.5dB일므로 모드부정합이 손실에 미치는 영향은 약23%/13% 정도였다. 광도파로 중심축을 이동시킴에 따른 모드 불일치도를 조사한 결과 그 TM/TE 손실크기는 각각 광파이버 최대 광

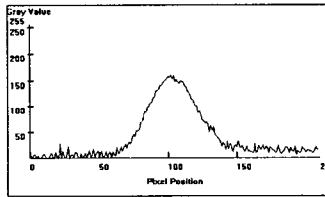
power에서 아랫방향으로  $0.6\mu\text{m}$  이동하면 TE 모드는  $-0.26\text{dB}$  까지 감소하며 깊이  $0.8\mu\text{m}$ 에서 TM 모드는  $-0.44\text{dB}$  까지 감소하는 것으로 분석되었다.



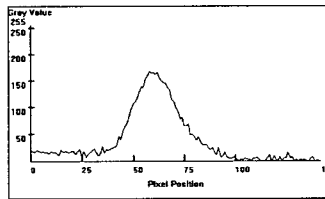
(a)



(b)

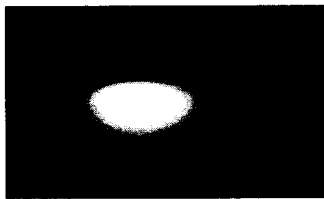


(c)

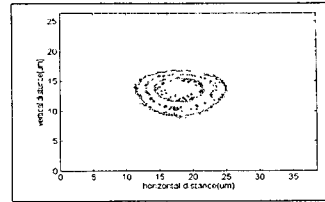


(d)

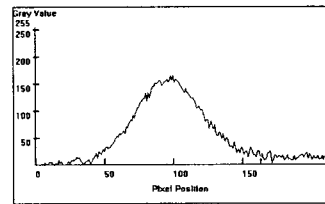
그림 4. TE 모드, 파장 1590nm



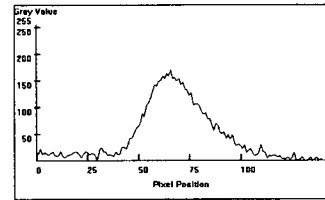
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 5. TM 모드, 파장 1590nm

표 1. 모드크기, 파장 1550nm

	TE, $\mu\text{m}$	TM, $\mu\text{m}$
Horizontal	9.6	13.8
Vertical	6.5	8

표 2. 전체 삽입손실, 파장 1550nm

	TM	TE
LOSS	- 4.1 dB	- 5.5 dB
LENGTH, CHANNEL	3.3 cm	
SUB.(-X polished)	X-CUT LiNbO <sub>3</sub>	

Ti thick. : 1400 Å

condition : 1050°C, 8h, wet oxygen atmosphere

### 3. 결론

본 연구에서는 x-cut LiNbO<sub>3</sub>에 Ti를 확산하여 저손실 광도파로를 제작하고 도파모드 특성을 연구하였으며 편광보존 파이버와 pigtailling하여 전체 삽입손실을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

#### (1) 제작조건

① 확산 前 Ti 두께 : 1400 Å

- ② 도파로 선폭 :  $8\mu\text{m}$  single channel waveguide
  - ③ 확산온도 :  $1050^\circ\text{C}$
  - ④ 확산시간 : 8 시간
  - ⑤ 확산분위기 : wet bubbled oxygen
  - ⑥ 도파로길이 : 3.3cm
- (2) 도파로특성, 파장 1550nm
- ① TM 모드 fiber-to-fiber 삽입손실 : -4.1dB
  - ② TE 모드 fiber-to-fiber 삽입손실 : -5.5dB
  - ③ TM 모드 수평/수직방향 크기 :  $13.8\mu\text{m}/8\mu\text{m}$
  - ④ TE 모드 수평/수직방향 크기 :  $9.6\mu\text{m}/6.5\mu\text{m}$
- (3) 모드 부정합손실(도파로 출력단)
- ① TM 모드 : -0.58dB
  - ② TE 모드 : -0.36dB
  - ③ 최소 광모드 부정합손실
  - ④ TM 모드 : -0.44dB
  - ⑤ TE 모드 : -0.26dB

#### 참고문헌

- [1] 전자부품종합기술연구소, B-ISDN 공동연구개발사업:수동광부품개발 최종년도보고서, KETI-RD-96091, 1996.12
- [2] 전자부품종합기술연구소, 광통신용 도파로형 광필터개발, KETI-RD-97003, 1996.12
- [3] 전자부품종합기술연구소, 수동광부품개발, KETI-RD-94030, 1994.7
- [4] 김성구 외, "Mach-Zehnder  $\text{LiNbO}_3:\text{Ti}$  광도파로제작 및 특성", 한국전기전자재료학회, 1997년 춘계학술연구논문발표대회, OA-4
- [5] 김성구 외, "Air 분위기로 제작한  $\text{Ti}:\text{LiNbO}_3$  도파로 특성", 한국전기전자재료학회, 제9권 7호, 1997년 8월호.
- [6] 김성구 외, "<math>0.5\text{dB/cm}</math> 저손실  $\text{Ti}:\text{LiNbO}_3$  광도파로 제작 및 BPM 해석", 한국전기전자재료학회, 1997.6 접수번호 : 97-174
- [7] 김성구 외, "Wet Oxygen 분위기로 제작한  $\text{Ti}:\text{LiNbO}_3$  도파로 특성", 한국전기전자재료학회, 1997.7 접수번호 : 97-175