

論文98-35D-7-15

Ti:LiNbO₃ 광도파로 제작 및 특성분석(Fabrication and Characteristics Analysis of Ti:LiNbO₃ Optical Waveguide)

尹炯導*, 金成求*, 李漢諤*, 尹大源*

(Hyung-Do Yoon, Sung-Ku Kim, Han-Young Lee, and Dae-Won Yoon)

요약

본 연구에서는 광소자 제작에 폭넓은 응용이 이루어지고 있는 z-cut LiNbO₃ 기판을 이용하여 폭 8 μ m, 길이 66,000 μ m의 채널 및 Mach-Zehnder 간섭형 광도파로를 설계한후 Ti strip두께 950Å, 확산온도 1050°C, 확산시간 6-8시간, wetO₂ 분위기로 저손실 Ti:LiNbO₃ 광도파로를 제작하였다. 제작된 광도파로의 표면 및 단면분석을 하였으며 1550nm 파장의 레이저를 입사시켜 도파로의 모드형태를 분석한결과 단일모드로 나타났으며 가우시안형태의 프로파일을 측정한결과 제작된 도파로의 실크기는 W_x=10.95 μ m, W_y=9.14 μ m이었다. TM모드와 TE모드로 나누어 전송손실을 계산한결과 TM모드는 0.50dB/cm, TE모드는 0.45dB/cm로 나타나 광소자 제작에 활용할수 있음을 확인하였다.

Abstract

In this work was produced and analyzed a z-cut Ti:LiNbO₃ optical waveguide which applies for various optical devices. A waveguide channel with a thickness 8 μ m and a length 66,000 μ m and a Mach-Zehnder interferometer type waveguide were fabricated at a diffusion temperature 1050°C for 6-8hours in a wet O₂ environment. The resulting Ti:LiNbO₃ optical waveguide was measured to have a Ti-strip thickness of 950Å and low loss. Surfaces and cross-sections of a fabricated waveguide were analysed. The mode pattern analysis revealed that the waveguide showed a single mode at a 1550nm wavelength. The effective dimension of the waveguide was calculated by measuring a Gaussian profile; W_x=10.95 μ m and W_y=9.14 μ m. A propagation loss, of 0.50dB/cm for a TM mode and 0.45dB/cm for a TE mode, was low enough to be acceptable for optical devices.

I. 서론

광도파로는 기판보다 높은 굴절율을 갖는 영역을 평면 또는 채널형으로 만들어 입사광을 전반사시켜 높은 굴절율 영역에 빛이 도파되는 원리를 응용한 것이다.

도파로 제작에 사용되는 기판으로는 유리계열, ABO₃계열(LiNbO₃, LiTaO₃), III-V 족계열(GaAs, InP)등이 있으며 저가로 낮은 전기광학효과를 보이는

유리계열은 분과/합파등의 수동소자 제작에, 큰 전기광학계수를 나타내는 LiNbO₃ 단결정등은 고속변조소자에, 좋은 전기광학효과를 나타내는 GaAs, InP등은 monolithic 광IC 제작에 사용된다. 고속변조소자에 사용되는 LiNbO₃ 결정을 이용하여 광도파로를 제작하는 방법은 Ti내부확산방식과 양자교환방식^{[1][2]}이 일반적이며 여기서는 Ti내부확산법을 이용한 광도파로 제작에 관하여 논의하였다. Ti내부확산법은 1974년 Bell 연구소의 R.V.Schmidt, I.P.Kaminow에 의해 수백Å의 얇은 금속층을 LiNbO₃ 결정위에 증착시킨후 높은 온도에서 가열함으로써 금속을 결정내로 확산시켜 광

* 正會員, 電子部品綜合技術研究所 部品研究 1팀
(Korea Electronics Technology Institute, KETI)
接受日字:1998年3月13日, 수정완료일:1998年5月27日

도파로를 형성하는 방법이 보고 된 이후 지속적인 연구로 1980년대는 이를 이용한 도파로 제작기술이 일 반화되었다. 1990년대는 각종 기능성소자 제작이 가능 하게 되었으며 21세기를 화려한 초고속, 대용량 광통신시대로 규정하고 이를 구현할 각종 모듈개발에 박차를 가하여 왔다. 본 연구에서는 광소자로 광범위한 응용이 이뤄지고 있는 z-cut LiNbO₃을 이용하여 저손실 Ti:LiNbO₃ 광도파로 제작법을 확립하고 광도파로의 표면 및 단면분석, 모드프로파일, 제작된광도파로의 크기 및 도파손실등의 특성을 분석하였다.

II. 설계 및 시뮬레이션

광손실이 적은 1550nm파장대에서 사용하기위한 Ti:LiNbO₃ 광도파로를 제작하기위한 일반적인 파라미터는 광도파로폭 6-9μm, Ti의 확산을 위한 증착두께 700-1000Å, 확산온도 950-1050℃ 사이로 나타나 있다. 광도파로 제작을 위하여 싱글채널형태와 마크젠더 형태의 광도파로를 설계한후 제작후의 굴절률분포도를 시뮬레이션하였다. 그림 1에 광도파로 제작을 위한 채널 및 마크젠더 간섭형 광도파로 설계도를 나타내었다. 채널 광도파로 폭은 8μm이고 전체길이는 66,000μm이며, 마크젠더형태의 광도파로 폭은 8μm Y-분기 각도는 0.5° 로 하였으며 전체길이는 66,000μm이고 전체 평행 arm 길이는 47,820μm, Y-branch 길이는 좌우 측 각각 9,090μm 도파로 간격은 13μm로 설계하였다.

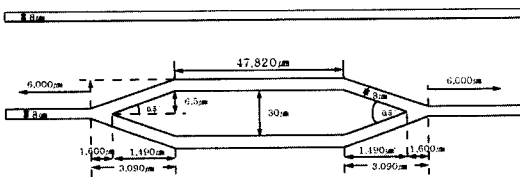


그림 1. 광도파로 구조 및 크기
Fig. 1. The structure and dimension of optical waveguide.

Ti가 확산된후에 형성될 Ti:LiNbO₃ 광도파로의 굴절률분포는 다음과 같이 모델링 할수 있다^[3]. LiNbO₃ 위에 증착된 Ti stripe은 확산공정에 의해 광도파로가 형성되고 다음과 같은 식의 굴절률 변화를 일으킨다.

$$\Delta n_i(\lambda, x, y) = d_i(\lambda) h_i(x, y) \quad i = e, o \quad (1)$$

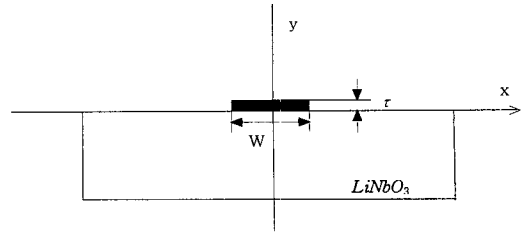


그림 2. Ti:LiNbO₃ 광도파로 모델링
Fig. 2. Ti:LiNbO₃ optical waveguide modeling.

이때 첨자 e와 o는 각각 이상(extraordinary) 및 정상(ordinary) 광굴절율의 변화를 나타내며, d_i는 파장에 따른 분산효과를 나타내는 인자이고 Ti:LiNbO₃ 광도파로의 경우 다음과 같은 분산인자를 가진다.

$$d_e(\lambda) = 0.839\lambda^2 / (\lambda^2 - 0.0645) \quad (2)$$

$$d_o(\lambda) = 0.67\lambda^2 / (\lambda^2 - 0.13) \quad (3)$$

그리고 굴절율 분포함수는 다음과 같다.

$$h_i = (F_i c(x, y))^\gamma \quad (4)$$

F_i 와 γ는 각각 분포상수값으로 Ti:LiNbO₃ 광도파로는 다음과 같은 상수값들로 표현될 수 있다.

$$F_e = 1.2 \times 10^{-23} \text{ cm}^2, \quad F_o = 1.3 \times 10^{-25} \text{ cm}^2 \quad (5)$$

$$\gamma = 1 \text{ (이상광 굴절율 변화)}$$

$$\gamma = 0.55 \text{ (정상광 굴절율 변화)}$$

그리고 Ti 확산에 의한 도파로 영역의 농도분포함수는 다음과 같다.

$$c(x, y) = c_0 [\text{erf}(W/2D_x(1+2x/W)) + \text{erf}(W/2D_x(1-2x/W))] \cdot \exp(-y^2/D_y^2) \quad (6)$$

W : waveguide width

D_y : Diffusion length in depth

D_x : Lateral diffusion length

즉 수평방향으로는 erf형태의 농도분포를 나타내고 수직방향으로는 가우시안 형태의 농도분포를 나타낸다. 그리고 농도 분포상수는 다음과 같이 표현된다.

$$c_0 = \tau C_m / (\sqrt{\pi} D_y) \quad (7)$$

$$C_m = \rho / M_{at} \quad (8)$$

이때 τ 는 초기 Ti 스트립 두께를 나타내며, ρ 는 밀도 그리고 M_{at} 는 도펀트의 원자질량을 나타낸다. 보통 Ti의 경우 $C_m = 0.567 \times 10^{23} \text{ cm}^{-3}$ 의 값이 사용된다. 이상과 같이 Ti농도 분포에 따른 광도파로 굴절률 변화량을 모델링함으로써 다양한 공정조건에 따른 광도파로의 도파특성을 계산할 수 있다.

본 연구에서는 기존 문헌들을 참고 [4] [5] 하여 1550nm대역에서 단일모드를 나타내는 도파로 제작 조건으로 Ti 박막증착두께는 950Å, Ti선폭은 8 μm 로 하고 확산온도는 1025°C, 1050°C 확산시간은 6시간과 8시간으로 하여 굴절률분포를 계산하였다. 그림3의 (a)는 1025°C에서 6시간 (b)는 1025°C에서 8시간 (c)는 1050°C에서 6시간 (d)는 1050°C에서 8시간 확산했을 때의 모의실험한 결과이다. 그림 3의 (a)(b)보다는 (c)(d)의 조건으로 제작되었을 때 가로 및 깊이방향으로 적절하게 확산되어 있음을 알 수 있다.

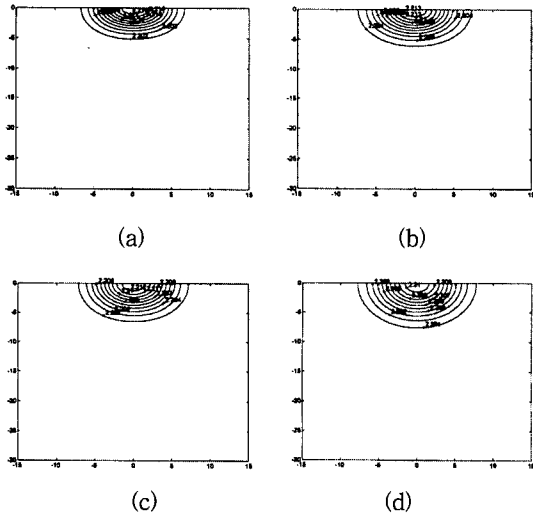


그림 3. 굴절률분포도
Fig. 3. Refractive index profile.

III. Ti:LiNbO₃ 광도파로 제작

시뮬레이션한 결과를 토대로 굴절률특성이 좋은 샘플 두 개(샘플A: 확산온도 1050°C 확산시간 6시간, 샘플B: 확산온도 1050°C 확산시간 8시간)를 선택하여 광도파로 제작작업을 하였다. 광도파로 제작을 위한 티타늄 내부확산 공정은 그림 4와 같이 LiNbO₃ 기판 위에 티타늄 박막증착, 사진식각작업, 티타늄 식각, 티타늄 내부확산 순으로 이루어진다.

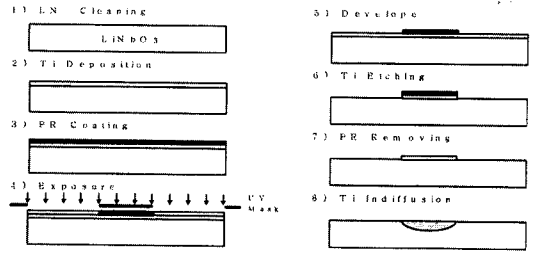


그림 4. 광도파로 제작공정
Fig. 4. The fabrication process of optical waveguide.

광도파로 제작의 첫단계는 LiNbO₃ 기판의 세척인데 도파로 제작을 위한 첫단계로서 매우 중요하다. LiNbO₃ 기판을 기판전문 세정제 데코넥스와 증류수를 혼합하여 45°C 온도에서 초음파 세척을 30 분간하고 곧이어 초순수 증류수를 이용해 다시 실온에서 30분간 초음파 세척하였다. 그후 이소프로필 알콜 용매 속에서 실온상태로 3분간 더 초음파 세척하고 드라이 오븐을 이용하여 건조하였다.

다음 단계로 E-beam 증착장비를 이용하여 3×10^{-6} 진공상태에서 950Å 두께의 Ti 박막을 증착하였다. Ti 이 증착된 LiNbO₃ 기판은 스핀코터를 사용하여 Shipely 계열 포토리지스트를 8000 rpm 에서 20 초간 코팅시켰다. 도포과정이 끝난 후 90 °C 드라이 오븐 속에서 30 분간 소프트베이킹 하였다. 노광장비의 vacuum-contact 모드를 사용하여 15초간 노광하였고 현상액 속에서 15초간 담구어 꺼내어 충분히 헹군 다음 100 °C 온도에서 30분간 하드베이크하여 기판에 남아있는 잔류수분과 솔벤트를 제거하였다. 그리고 Ti 식각용액에 기판을 적정시간 담구어 도파로의 부분의 패턴을 전부 에칭시켰다.

최종적으로 Ti 도파로 패턴 위에 도포된 포토리지스트를 제거하기 위해서 리지스트 스트리퍼에 약 30분 담근후 흐르는 증류수속에서 충분히 세척하여 기판 위에는 도파로 패턴의 Ti 만 남게 하였다. 도파로 패턴이 구성된 시편을 갖고 튜브확산로를 이용해 도파로 제작 최종단계인 확산 작업을 수행하였다. 그림 5에 wet O₂를 이용한 구경 6인치 튜브확산로구조를 나타내었다. 튜브확산로는 3zone중 hot zone부위길이를 길게 설계제작하여 여러개의 시편을 동시에 확산시킬수 있게 하였다.

확산온도는 1050 °C로 하였으며 Li₂O out-diffusion을 억제하기 위한 wet O₂ 분위기에서 샘플A

는 6시간, 샘플B는 8시간 확산하였다. 표 1에 LiNbO₃ 광도파로 제작조건을 나타내었다.

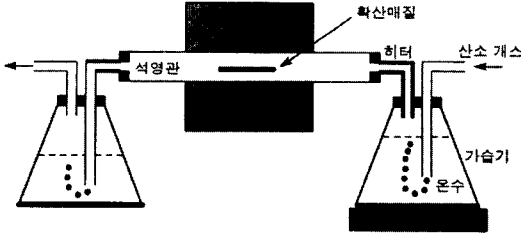


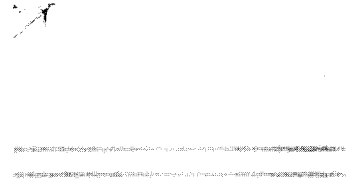
그림 5. 확산로 구조
Fig. 5. The structure of tube furnace.

표 1. LiNbO₃ 광도파로 제작조건
Table 1. Process parameter of LiNbO₃ waveguide.

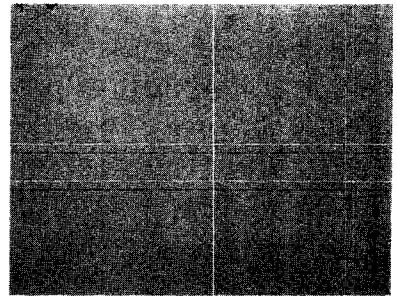
	sample A	sample B
Ti 증착두께 (Å)	950	950
도파로 폭 (μm)	8	8
도파로 길이 (μm)	60,000	60,000
확산온도 (°C)	1050	1050
확산시간 (hour)	6	8
분위기	wet O ₂	wet O ₂

IV. 광도파로 특성

확산 후 확산조건이 도파로표면 형상에 미치는 영향을 알아보기 위해서 표면형상을 관찰하였다. 그림 6의 (a)는 샘플A의 확산전의 표면형상이고 (b)는 확산후의 표면형상을 나타내었다. 확산전에는 도파로패턴에 뚜렷한 경계가 있었으나 확산 후 모양은 많은 변화를 하게된다. 측면방향으로 희미한 Ti 선확장이 생기고 전체두께는 내려앉는다. 이와같이 확산메카니즘에 의해서 Ti 은 깊이 및 측면으로 확산하게 되는데, 확산표면은 매끄럽고 삼각형모양의 기복이 발생하지 않는 것이 광도파손실을 더욱 줄일 수 있어 조건분석이 필요하다. 확산 후 샘플의 도파로부분 표면을 electron probe method로 측정했을 때 표면 Ti 량은 <<10% 로서 매우 미미했다. 따라서 확산 후 표면형상은 복잡한 확산메카니즘에 의한 Ti 스트립 흔적이라고 예기할 수 있다. 샘플B 역시 표면형상은 샘플 A와 비슷한 형태를 나타내었다.



(a)



(b)

그림 6. Ti확산에 의해 제작된 광도파로 표면형상 (a) 확산전 마크젠다 arm 표면형상 (b) 확산후 마크젠다 arm 표면형상

Fig. 6. The surface morphology of waveguides fabricated by Ti diffusion. (a) Mach-Zehnder arm surface morphology before diffusion (b) Mach-Zehnder arm surface morphology after diffusion

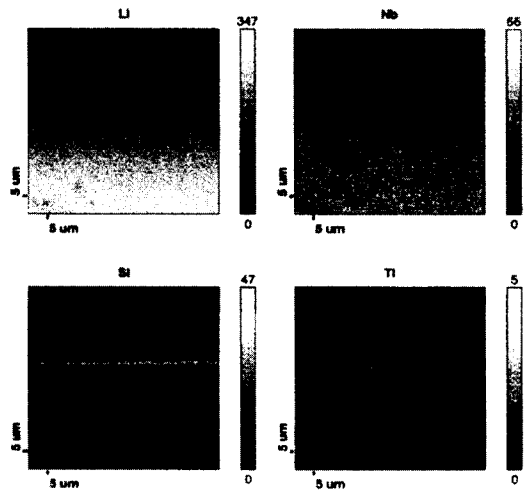


그림 7. Ti확산에 의해 제작된 광도파로 단면형상 (샘플A 1050°C, 6시간, wet O₂)

Fig. 7. The cross section morphology of waveguide fabricated by Ti diffusion(Sample A 1050°C, 6hour, wet O₂)

그림 7과 그림 8은 제작된 광도파로 단면을 SIMS (secondary ion mass spectroscopy) 촬영하여 분석한 사진을 도시하였다. 그림 7은 1050°C 에서 6 시간 동안 확산한 샘플A를 같은 위치에서 촬영한것으로 상층의 좌변사진은 LiNbO₃ 기판성분중 리튬성분을 우변은 니오븀성분을 하층의 좌변은 도파로위에 버퍼층으로 사용되는 실리콘옥사이드의 실리콘성분을 우변은 리튬나ियो베이트 결정내로 확산된 티타늄성분을 각각 나타내고 있다. 그림 8은 1050°C에서 8시간동안 wet O₂분위기를 사용하여 제작한 샘플 B를 같은 방법으로 촬영한 사진이다.

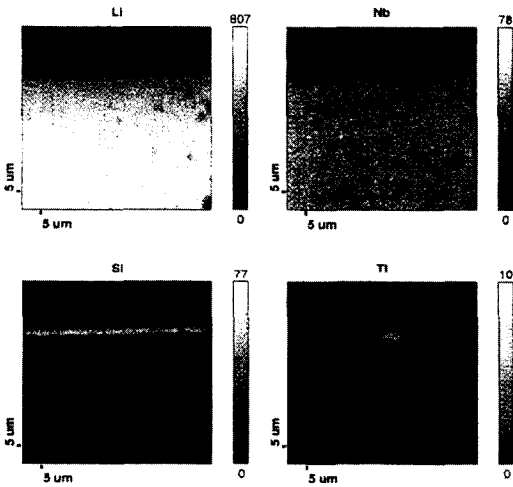


그림 8. Ti확산에 의해 제작된 광도파로 단면형상 (샘플A 1050°C, 8시간, wet O₂)

Fig. 8. The cross section morphology of waveguide fabricated by Ti diffusion(Sample A 1050°C, 8hour, wet O₂)

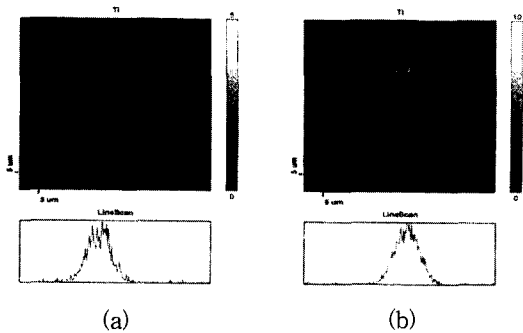


그림 9. Ti 광도파로 (a) A샘플(1050°C, 6시간, wet O₂ 분위기) (b) B샘플(1050°C, 8시간, wet O₂ 분위기)

Fig. 9. Ti optical waveguide (a) A sample (1050°C, 6hour, wet O₂) (b) B sample (1050°C, 8hour, wet O₂)

그림 9는 샘플A와 샘플B의 Ti확산된 도파로부분의 단면을 확대하여 비교한 사진이다. 제작된 샘플의 Ti 농도와 가우시안 분포도를 비교해볼때 같은조건에서 6 시간 확산한 샘플A보다 8시간 확산한 샘플B가 도파로제작이 잘되어 있음을 알아볼수 있다.

제작이 잘된 샘플 B의 정확한 분석을 위하여 폭 8 μm, 길이 60,000μm 인 마크젠더형태의 도파로가 제작된 기판을 잘라서 입출력단을 폴리싱한뒤 내부칩의 입력단에 광파이버를 부착한후 그림 10과 같은 실험방법으로 모드패턴을 분석하였다.

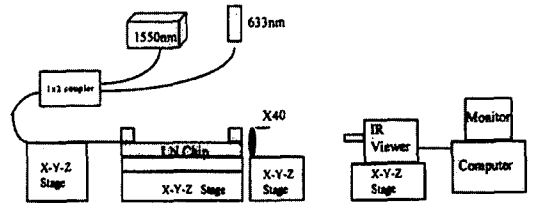


그림 10. 모드패턴 실험

Fig. 10. Mode pattern experimentation.



Mode profile of fiber(Wx=10.5μm, Wy=10.5μm)

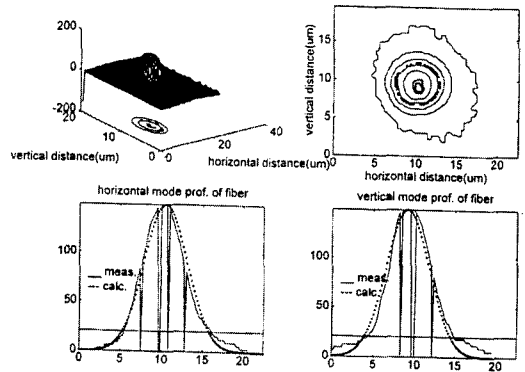


그림 11. 기준광원으로 사용한 광파이버 모드 및 프로파일

Fig. 11. Reference mode and profiles of single mode fiber.

광도파로의 근사야상을 측정하기 위한 도파실험 세트 구성은 1550nm LD레이저광원과 633nm He-Ne 레이저광원이 2x1 커플러를 통하여 광도파로에 동시에 입사할 수 있게 구성하였고 출력 단에는 x40 렌즈,

IR viewer, monitor등을 통하여 출력 광파를 관찰할 수 있게 하였다.

그림 11에 광도파로 모드크기 및 모드불일치 계산 측정에 기준으로 사용한 단일모드 광파이버의 기준모드 및 프로파일을 나타내었다. 단일모드 광파이버 코어의 실크기는 8 μ m이며 이 값을 그림 11에서 얻어진 데이터에 고장시킨후, 1개 픽셀당 크기를 측정하고 계산에 활용하였다.

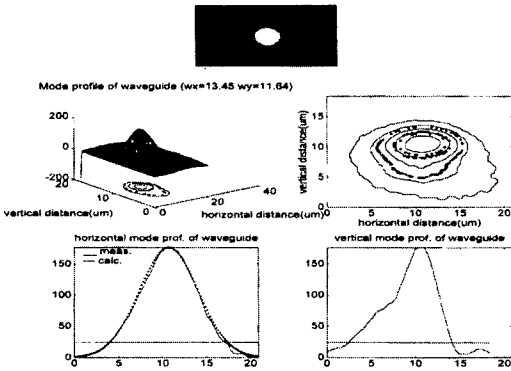


그림 12. 단일도파로의 도파모드 및 프로파일
Fig. 12. Waveguide mode and profiles of Single channel.

그림 12는 1550nm 파장대에서 측정한 Ti:LiNbO₃ 광도파로 샘플B의 near field pattern과 모드프로파일이다. 프로파일은 수평측면방향, 깊이방향 강도분포 및 수직투사도를 나타내었다. 여기서 얻어진 측면 및 깊이방향 데이터를 분석하여 광강도가 1/e²되는 (W_x, W_y)를 구하고 모드불일치 계산에 사용하였다. 모드수평방향은 가우시안 형태를 취하고 있으며 수직방향은 헬릿가우시안 형태를 보여주고 있다.



그림 13. 도파로 도파모드 (a) TM/TM (b) TE/TE
Fig. 13. Waveguide mode. (a) TM/TM (b) TE/TE

제작된 도파로의 모드프로파일에서 횡축 W_x=13.45 μ m, 종축 W_y=11.64 μ m의 크기로 나타났다. 기준이되는 파이버의 모드프로파일이 횡축/종축=10.5/10.5 μ m(실크기 8 μ m)이므로 확산된 도파로의 실크기는횡축 W_x=

10.95 μ m, 종축 W_y=9.14 μ m이다

그림 13에 TM모드와 TE모드를 분리하여 측정한다. 도파로의 모드형태를나타내고 그림 14는 TE 모드 횡/종 분포를 그림 15는 TM 모드 횡/종 모드크기를 2차원으로 나타내었다.

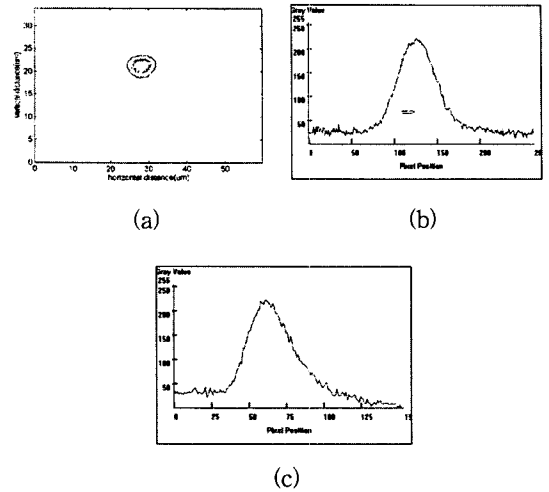


그림 14. 도파로 모드크기 (a) TE (b) TE horizontal (c) TE vertical
Fig. 14. Waveguide mode size. (a) TE (b) TE horizontal (c) TE vertical

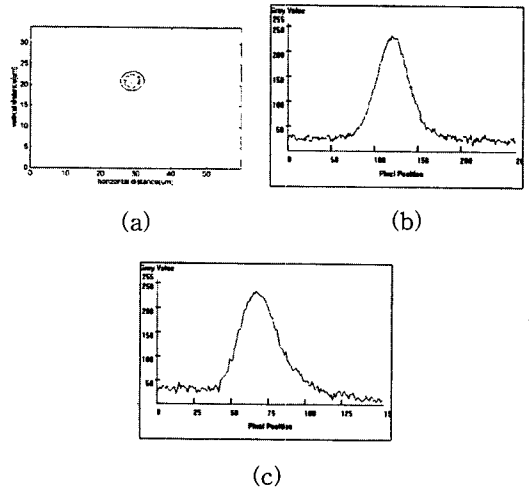


그림 15. 도파로 모드크기 (a) TM (b) TM horizontal (c) TM vertical
Fig. 15. Waveguide mode size. (a) TM (b) TM horizontal (c) TM vertical

표 2는 그림 10과 같은 모드패턴실험방식을 이용하여 광도파로의 전송 손실을 계산한 값이다. 기준값을 측정후 광도파로 입력측에 광파이버를 부착하고 도

파로를 지나 나온 출력광원을 x40렌즈와 PD, PDA를 이용하여 전류값으로 바꾼 뒤 전체손실에서 pigtailling 시 결합손실과 렌즈집속시의 결합손실을 제외한 값을 가지고 광도파로 전송손실을 환산한 것으로 1550nm 파장대에서 TM모드는 0.50dB/cm, TE모드는 0.45dB/cm 로 나타났다.

표 2. 광도파로 전송손실

Table 2. Optical waveguide propagation loss.

	mode	전체손실 (검출기 측정값·출력/입력)	결합손실	전송손실
1550 nm	TM mode	4.73dB (1.65mW/4.90mW)	1.72dB	0.50dB/cm
	TE mode	4.47dB (2.00mW/5.60mW)	1.72dB	0.45dB/cm

V. 결 론

본 연구에서는 광소자로 광범위한 응용이 이루어지고 있는 z-cut LiNbO₃을 이용하여 저손실 Ti:LiNbO₃ 광도파로를 제작하고 광도파로의 표면 및 단면분석, 모드프로파일, 제작된광도파로의 크기 및 도파손실등의 특성을 분석하였다.

광도파로 제작을 위해 폭 8 μ m, 길이 66,000 μ m의 채널 및 Mach-Zehnder 간섭형 광도파로를 설계한후 제작후의 굴절률분포를 모의실험하여 특성이 좋은 결과를 도파로 제작실험에 응용하였다. Ti를 950Å 두께로 증착한후 일련공정에따라 사진식각작업을 하였다. 그후 튜브확산로를 이용하여 확산온도 1050 $^{\circ}$ C, 확산시간 6-8시간, wetO₂ 분위기를 이용하여 광도파로를 제작하였다. 제작된 광도파로의 표면형상을 분석하였으며 단면을 잘라서 SIMS장비를 이용하여 Ti농도분석을 한결과 원하는 형태의 확산이 되어있음을 확인하였다. 66,000 μ m크기의 광도파로의 입출력을 연마한후 도파로에 1550nm 파장의 레이저를 입사시켜 도파로의 모드형태 및 프로파일을 분석한결과 모드는 단일모드가 나타났으며 가우시안형태의 프로파일을 측정한결과 제작된 도파로의 실크기는 W_x=10.95 μ m, W_y=9.14 μ m로 확인되었다. TM모드와TE모드로 나누어 전송손실을 계산한결과 TM모드는 0.50dB/cm, TE모드는 0.45dB/cm로 나타났다.

참 고 문 헌

- [1] R. V. Schmidt and I. P. Kaminow, "Metal-diffused optical waveguides in LiNbO₃," Appl. Phys. Lett., vol. 25, pp. 458-460, 1974.
- [2] J. L. Jackel, C. E. Rice, and J. J. Veselka, "Proton exchange for high-index waveguides in LiNbO₃," Appl. Phys. Lett., vol. 41, no. 7, pp. 607-608, 1982.
- [3] C. M. Kim and R. V. Ramaswamy, "Modeling of graded-index channel waveguides using nonuniform finite difference method," J.Lightwave Technol. vol. 7, pp. 1581-1589, Oct. 1989.
- [4] 김성구, 윤형도, 윤대원, 한상필, 허현, "Mach-Zehnder LiNbO₃:Ti 광도파로 제작 및 특성", 한국전기전자재료학회 춘계학술대회, OA-4, 1997
- [5] 전자부품종합기술연구소, "B-ISDN 공동연구개발사업, 수동광부품개발 최종년도 보고서" KETI-RD-96091

저 자 소 개

尹 炯 導(正會員) 1966年 5月 7日生 1993年 2月 명지대학교 전자공학과 석사학위취득. 1997년 3월 성균관대학교 전자공학과 박사과정 입학. 1993년 ~ 현재 전자부품종합기술연구소 부품연구1팀 선임연구원. 주관심분야는 Integrated Optics, Passive Optical Device

金 成 求(正會員) 1966年 1月 10日生 1996年 2月 전남대학교 전기공학과 박사학위취득. 1994년 ~ 현재 전자부품종합기술연구소 부품연구1팀 선임연구원. 주관심분야는 Integrated Optics 및 Passive Optical Device

李 漢 諤(正會員) 1962年 5月 18日生 1991年 2月 서강대학교 전자공학과 졸업. 1993년 1월 맨체스터공대 전자재료 석사학위 취득. 1996년 10월 맨체스터공대 전자재료 박사학위 취득. 1997년 ~ 현재 전자부품종합기술연구소 부품1팀 선임연구원. 주관심분야는 MSW 및 Passive Optical Device

尹 大 源(正會員) 1949年 10月 7日生 1971年 2月 한양대학교 전자공학과 졸업. 1984년 8월 Texas A & M 대학교 전기공학과 석사학위 취득. 1988년 12월 Texas A & M 대학교 전기공학과 박사학위 취득. 1973년-1982년 금성정밀공업(주) 중앙연구소근무. 1989년 ~ 1991년 현대전자산업(주) 반도체연구소근무. 1991년 ~ 현재 전자부품종합기술연구소 부품연구본부장. 주관심분야는 Integrated Optics 및 Passive Optical Device. Optical Package