

Ti 내부 확산 / 양자교환(TIPE) 방식에 의한
평면 광도파로 렌즈의 제작

正會員 鄭 浙 文* 正會員 崔 成 植* 正會員 尹 台 焄* 正會員 金 在 昌*

Fabrication of a Optical Planar Waveguide Lens
by Ti-Indiffused Proton-Exchange

Suk Moon Chung*, Sung Shik Choi*, Tae Hoon Yoon*, Jae Chang Kim* *Regular Members*

要 約

본 논문에서는 Y-cut LiNbO₃ 기판 위에 TIPE 방식을 이용하여 평면 광도파로 렌즈를 제작하고 그 특성을 측정하였다. Ti 내부 확산 평면광도파로 및 TIPE 평면 광도파로를 제작하고, 프리즘 결합으로 굴절율을 측정하였다. 측정된 기본파 유효굴절율로부터 평면 광도파로 렌즈의 궤적을 구하여, 사진식각법과 lift-off 기법을 이용하여 TIPE 평면 광도파로 렌즈를 제작하였다.

도파로를 따라 도파되던 광이 평면 광도파로 렌즈에 의하여 집속되는 현상을 관측하였고, 측정된 결과와 컴퓨터 시뮬레이션의 결과가 잘 일치함을 알 수 있었다. 관측한 초점의 위치 및 크기가 설계한 값과 잘 일치하였다.

ABSTRACT

In this paper we report the fabrication of a planar optical waveguide lens on a Y-cut LiNbO₃ substrate by Ti-indiffusion and Ti-indiffused proton-exchange(TIPE). LiNbO₃ planar waveguides are fabricated and refractive indices of the waveguides are measured. Based on the measured indices, planar waveguide lenses are designed and fabricated. The measured focal point and spot size of the fabricated lens are in good agreement with those of the designed lens.

I. 서 론

1970년대에 들어와 집적광학의 기본적인 구성요소로서 평면 광도파로 렌즈(optical planar waveguide lens)가 이용됨에 따라, 이 분야에 대한 연구가 활발

히 진행되어 여러가지 형태의 광도파로 렌즈들이 개발되었고, 실제로 이러한 광도파로 렌즈가 광통신 또는 광정보 처리 시스템에 응용되고 있다.^{1)~7)}

기존의 평면 광도파로 렌즈는 geodesic lens, chirp grating lens, Fresnel lens, SAW diffraction lens, Luneberg lens 등의 여러가지 형태의 렌즈들이 있다.^{1)~7)} 그러나, 이러한 렌즈들은 원하는 복합적인 렌즈 특성을 얻기가 힘들 뿐만 아니라 무엇보다도 제작하기 어려운 단점이 있으므로, 복합렌즈나 마이크로

*釜山大學校 電子工學科
Dept. of Electronics Engineering, Pusan National University
論文番號 : 92-38(接受1992. 1. 17)

렌즈 어레이에 사용되기 힘들다.⁷⁾

최근 들어 TIPE(Ti-indiffused proton-exchange) 기술을 이용한 도파로 제작기술이 연구 개발되어 이러한 TIPE 기술에 의한 평면 광도파로 렌즈의 제작이 가능해졌다. Ti 내부확산(Ti-Indiffusion : TI) 공정과 양자교환(Proton-Exchange : PE)공정으로 이루어진 TIPE 기술에 의한 굴절율의 변화량은 정상굴절율(ordinary refractive index)이 약 0.04 감소하지만 이상굴절율(extraordinary refractive index)이 약 0.11 증가하며, Ti 내부확산법에 의한 이상굴절율의 변화가 매우 작음에 비하여 큰 굴절율의 변화가 생기고, 굴절율 분포가 거의 계단형(step function) 분포이다.⁸⁻¹³⁾ 이러한 TIPE 방법을 이용하면 평면 광도파로 렌즈는 제작이 간단하며, 초점거리가 매우 짧고, numerical aperture가 크며, 초점의 spot size가 작기 때문에 복합적으로 렌즈 특성이 좋다.^{13,14)}

본 논문에서는 Y cut LiNbO₃ 단결정 기판위에 Ti 내부확산/양자교환 방식에 의한 평면 광도파로 렌즈를 제작하기 위한 방법과 측정된 결과를 서술한다. II 절에서는 양자교환 방법 및 TIPE 평면 광도파로의 제작에 관하여 서술하고, III 절에서는 도파로의 유효굴절율을 적용하여 평면 광도파로 렌즈를 형성할 수 있는 제작 방정식을 구하여, 사진식각법과 lift-off 기법을 이용하여 TIPE로 평면 광도파로 렌즈를 제작하는 방법을 기술하고, IV 절에서는 제작한 평면 광도파로 렌즈의 초점위치 및 spot size를 측정하여 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 검토하고, V 절에서 결론을 맺는다

II. 평면 광도파로 제작

LiNbO₃에 양자교환을 행하면 이상굴절율이 약 0.11정도의 큰 굴절율의 변화를 일으키는 것으로 알려져 있으며, 이러한 큰 굴절율의 변화는 X-cut LiNbO₃과 Z cut LiNbO₃에는 적용되지만 Y-cut LiNbO₃에 양자교환만을 행하는 경우 Y-cut 기판의 표면에 손상(etching)을 준다.^{17,18)} 이러한 손상을 없애기 위한 방법들로는 (1) 양자교환을 행하기 전에 Ti를 내부확산시키는 방법(TIPE)과 (2) 매우 짧은 시간동안 양자교환을 시키고 300~400℃ 정도에서 어닐링하여 주는 방법과 (3) 리튬 벤조에이드와 벤젠산을 섞어 만든 묽은 벤젠산용액에 넣어 양자교환시키는 방법 등이 있다.

이러한 방법중 TIPE 방법은 Ti 내부확산 광도파로보다 비교적 레이저 손상이 작으며¹⁹⁾ 집적광통신이나 평면 광도파로 렌즈 등과 같은 다양한 소자를 만들 수 있다는 장점이 있다.⁷⁾

TIPE 평면 광도파로의 제작은 먼저 Ti 내부확산에 의해 평면 광도파로를 제작한 후, 제작되어진 Ti : LiNbO₃ 광도파로상에 양자교환을 시킨다. 양자교환을 한 양자원(proton source)으로는 질산(HNO₃), 황산(H₂SO₄)과 같은 강산성액과 벤젠산(C₆H₆COOH)과 Mg(NO₃)₆H₂O와 같은 약 산성액이 있으며, 본 연구에서는 용해점이 비교적 높기 때문에 확산이 빨리되고, 또한 안정성이 높으며 유독성이 작은 벤젠산을 양자원으로 사용하였다. 양자교환은 LiNbO₃의 Li⁺ 이온과 벤젠산의 H⁺ 이온이 서로 교환되어 H₃Li_{1-x}NbO₃가 표면부근에 형성되어 높은 굴절율층이 얻어지는 것으로 알려져 있다.¹⁰⁾

양자교환되어진 광도파로는 양자교환이 이루어진 이후에 교환된 수소이온이 기판의 결정구조 사이에서 안정된 형태를 갖추지 못하여 안정도가 떨어져서 도파모드가 불안정한 단점이 있으나, 제작하기가 쉽고 모 굴절율 변화가 크고 도파로 깊이방향의 굴절율 분포가 계단형이므로^{9,10)} 평면 광도파로상에 입사빔을 결합하기가 쉽다.

이러한 양자교환은 유리관의 한쪽 끝을 밀봉하여 모래시계모양의 ampoule을 만들고, 유리관의 아래부분에 벤젠산 가루를 넣는다. 준비된 Ti 내부확산 광도파로를 유리관의 윗부분에 넣어서 벤젠산가루와 아래위로 분리시킨다. 그 다음 다른 한쪽 끝을 밀봉하여 220℃의 도가니에 넣는다. 순수 벤젠산가루는 용해점이 122℃이므로 수분이 지난 후 벤젠산가루가 완전히 액체상태로 되면 유리관을 뒤집어서 평면 광도파로가 벤젠산에 잠기도록 하여 양자교환 시간을 조절한다. 양자교환이 끝나면 ampoule을 뒤집어 기판을 벤젠산 용액으로부터 분리시켜 냉각시킨다. 기판표면에 붙어있는 벤젠산은 메타놀로 세척을 하면 완전히 제거된다. 양자교환은 200℃에서 3시간동안 하였다. 이러한 조건하에서는 LiNbO₃ 기판표면에서 약 3.5μm 정도의 깊이로 양자교환될 것을 기대할 수 있다.¹¹⁾

내부확산온도는 1010℃로 하고 Ti 막막의 두께를 250Å으로 고정하였을때, Ti 내부확산 시간에 따른 TI 평면 광도파로의 도파모드 수와 TI 평면광도파로 들을 다시 220℃에서 3시간 양자교환시켜 측정한

표 1. Ti 내부 확산시간에 따른 TI 및 TIPE 평면 광도파로의 밝은 모드선 수(확산온도 : 1010℃, Ti 박막 두께 : 250Å, ; PE 온도 : 220℃, PE 시간 : 3H)

Table 1. Number of bright mode-line of the TI and TIPE planar waveguide with varying Ti indiffusion time(indiffusion temp. : 1010℃, Ti film thickness : 250Å, ; PE temp. : 220℃, PE time : 3Hours).

확산시간 (Hour)	밝은 모드선 수	
	TI 평면 광도파로	TIPE 평면 광도파로
3	2	2
5	2	2
6	2	2
10	2	5
12	2	6

TIPE 평면 광도파로의 도파모드 수를 표 1에 나타내었다. 표에서 내부 확산시간이 5~6시간인 경우에는 양자교환으로 인한 굴절율의 변화가 충분히 일어나지 않아 도파모드 수의 증가가 없고, 내부 확산시간이 10~12시간인 경우에는 양자교환으로 인한 굴절율의 변화를 도파모드 수의 증가로 확인할 수 있었다. 제작된 도파로의 Ti의 표면 농도가 높으면 양자교환을 일으키는 Li의 농도가 낮아지게 됨에 따라 양자교환을 방해하는 요소로 작용하는 것으로 생각되며, 따라서 일반적인 Ti 박막의 두께에 따른 내부 확산법에 의해 도파로를 제작하면 TIPE 평면 광도파로를 얻을 수 없다. 따라서 평면 광도파로 렌즈를 제작하기 위해서는 TI 평면 광도파로의 확산 시간을 충분히 늘려 주어야 한다.

제작한 TI 및 TIPE 평면 광도파로를 프리즘 결합을 하여 관측한 밝은 모드선으로부터 기본모드파와 1차모드파에 대한 유효 굴절율을 계산한 결과, 각각 2.2111(TE₀)과 2.2058(TE₁) 및 2.3210(TE₀)과 2.3154(TE₁)이었다.

III. 평면 광도파로 렌즈의 설계 및 제작

굴절율이 다른 두 매질의 경계에서 광이 굴절한다는 Snell의 법칙에 의하여 두 매질의 경계를 적절한

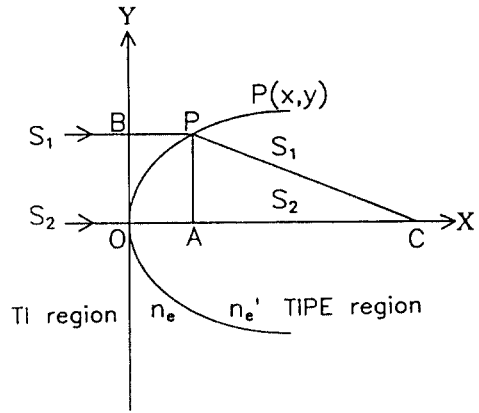


그림 1. 평면 광도파로 렌즈 제작
Fig. 1. Contour of a planar waveguide lens.

기하학적 제작으로 만들면, 이 두매질을 통과하는 광이 동위상으로 한 위치에 모이도록 할 수 있고, 이를 평면 광도파로 상에서 실현한 것이 평면 광도파로 렌즈이다. TE₀ 모드에서 TI 영역의 이상굴절율과 TIPE 영역의 이상굴절율을 각각 n_e와 n_e'이라고 하였을 때, x-y 평면상에서 그림 1과 같은 구조를 생각할 수 있다. y축상에서 동위상인 평행광 S₁과 S₂에 대하여 S₁이 점 B 및 점 P를 통과하여 점 C로 진행하고, S₂가 점 O를 지나 점 C로 진행하여 점 C에서 S₁, S₂가 동위상이 되면, 점 C는 초점이 된다. 이러한 볼록렌즈 경계의 제작 P(x,y)는 그림 1에서 Fermat 원리에 의해

$$\overline{Transit\ time(BPC)} = \overline{Transit\ time(OAC)} \quad (1)$$

$$\overline{BP} \cdot n_e + \overline{PC} \cdot n_e' = \overline{OAC} \cdot n_e \quad (2)$$

이다. 여기서 \overline{BP} 와 \overline{OB} 를 각각 x, y라 두고, \overline{OAC} 에 초점거리 f를 대입하면,

$$\frac{(x-a)^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (3)$$

이다. 여기서

$$a = \frac{f}{1 + n_e/n_e'} \quad (4)$$

$$b = \left[\frac{1 - n_e/n_e'}{1 + n_e/n_e'} \right]^{1/2} f \quad (5)$$

이다. 측정된 기본파 모드의 유효굴절률 $n_e=2.2111$ 과 $n_e'=2.3210$ 의 값을 대입하면,

$$\frac{(x-0.512f)^2}{(0.512f)^2} + \frac{y^2}{0.156f} = 1 \quad (6)$$

의 식을 얻을 수 있다.

식 (6)은 x, y 및 초점거리 f로 표현된 타원 방형(8)이며, x축의 장반경 a는 0.512f, y축의 단반경 b는 0.156f로 각각 초점거리 f의 종속변수가 된다. 최대구경 D는 y축의 단반경의 두 배이므로

$$D=2b=0.312f \quad (7)$$

로 표현되며, 초점 spot size는 $\lambda f/D$ 이다. 여기서, λ 는 TIPE영역에서의 파장이다. 그러므로

$$\text{spot size} = \frac{\lambda_e}{0.312n_e'} \quad (8)$$

가 되며, 초점 spot size는 초점거리에 관계 없이 일정해지며 입사된 빔의 파장에 의존함을 알 수 있다. 그러나, 타원형의 렌즈는 장축이 초점길이보다 크게 되어 관측이 어려울 뿐만 아니라 광 집속회로에 사용하기가 부적합하다. 따라서 렌즈의 초점을 렌즈 밖에서 맺히도록 하기 위해 그림 2의 실선과 같이 평면 광도파로 렌즈가 될 TIPE 영역은 렌즈의 단반경에서 간단하여 볼록-평면(convex-planar)형으로 설계하며, 이로 인한 효과는 렌즈부분인 TIPE 영역에서 발생할 수 있는 고차 모드들을 TI 영역에서 줄여줄 수 있다.¹⁶⁾ 렌즈의 단반경이 TIPE 영역의 경계선이 될 경우 초점거리는 처음계산된 값보다 작아지게 되는데, 새로운 렌즈 초점거리는 Snell의 법칙에 의해 계산할 수 있다.

제작하고자 하는 평면 광도파로 렌즈의 초점거리 F와 볼록-볼록 렌즈의 초점거리 f와의 관계는 계산에 의하여

$$F=0.975 f \quad (9)$$

로 주어진다. 실제의 초점 spot size의 값은 측정시의 입사되는 빔의 구경에 따라 다르게 된다. 본 연구에서 제작한 렌즈의 초점길이는 4.8mm이므로 단반경 b는 0.75mm이고, 장반경 a는 2.46mm이다. 측정시 사용한 평행광 빔의 폭은 0.4mm이므로 구경 D는 0.085F가 된다. 즉,

$$\text{spot size} = \frac{\lambda_e}{0.085n_e'} = 3.2\mu\text{m}$$

이다. 이렇게 이상적으로 설계된 평면 광도파로 렌즈는 평행광이 입사될 때 공간수차가 아주 낮다. 또한, 평면 광도파로 렌즈의 경우에는 thin 렌즈의 개념을 적용할 수가 없으므로, 입력방향에 따라 빔의 집속특성이 다르게 된다. 그림 2의 평면부분으로 입사하였을 때는 공간수차가 발생하여 초점이 형성되지 않는다. 평면부분으로 입사하였을 경우에 다시 렌즈의 궤적을 구하여 보면,

$$\frac{(x-a')^2}{a'^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (11)$$

이다. 여기서

$$a' = \frac{f}{1 + n_e/n_e'} \quad (12)$$

$$b' = \left[\frac{1 - n_e/n_e'}{1 + n_e/n_e'} \right]^{1/2} f \quad (13)$$

이다. 식 (11)로부터 평면-볼록 렌즈의 궤적은 쌍곡

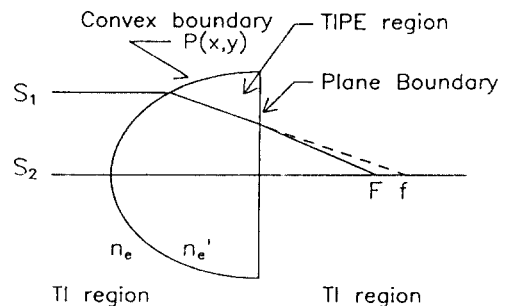


그림 2. 볼록-평면 렌즈의 초점
Fig. 2. Focus of a convex-planar lens.

선 형태를 취하게 되며, 블록-평면 렌즈와 비교하면 단반경 b' 은 b 와 같고, 장반경 a' 은 a 보다 작아지게 된다.

설계된 평면 광도파로 렌즈를 제작하기 위한 공정 과정을 그림 3에 나타내었다. 먼저 HRP를 이용하여 초점거리가 4.8mm인 마스크를 제작하였다. 제작된 Ti 내부 확산 평면 광도파로 위에 P.R.을 도포하고 사진식각법으로 렌즈 패턴을 형성한다. 진공증착기로

300Å 정도의 크롬을 증착시킨 후, lift-off기법을 이용하여 렌즈가 형성될 부분의 크롬을 제거하면 그림 4 (e)와 같이 렌즈영역만 창을 형성할 수 있다. 창이 형성된 기판을 220°C에서 3시간 동안 양자교환시키고 양자교환된 기판을 세척하여 벤젠산을 제거한 뒤 400°C에서 30분간 어닐링을 실시하였다.

제작한 평면 광도파로 렌즈의 특성을 실험하기 위해 사포 1500번 및 0.3 μ m의 알루미나 가루가 도포된 연마용 시트를 사용하여 입출력측을 90°로 연마하고 세척한다.

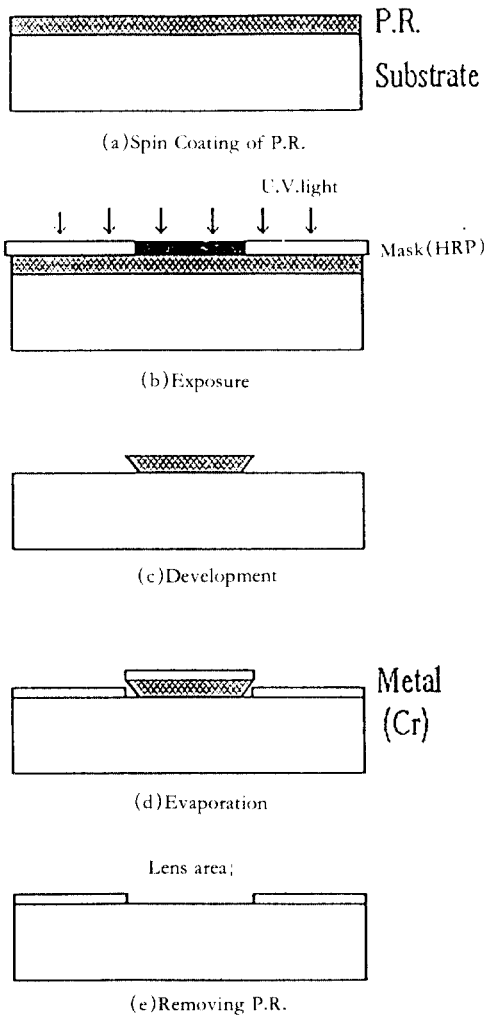


그림 3. 도파로 렌즈의 제작과정
Fig. 3. Fabrication process of a waveguide lens.

IV. 측정 및 고찰

제작한 평면 광도파로 렌즈의 특성을 파장이 0.6328 μ m인 He-Ne 레이저를 이용하여 측정하였다. 먼저, 입력을 직접 결합하고 출력면에 반투명 스크린을 설치하여 원시야상(far field pattern)을 관측하였다. 렌즈의 중심에서 상단으로 벌어지는 방향으로 입력 점을 이동시키며 렌즈로부터 180mm 뒤에 위치한 스크린에서 측정된 상을 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 비교하여 입사점에 대한 렌즈의 중심축으로부터 상의 위치를 그림 4에 나타내었다. 여기서 입사광의 폭은 0.4mm이다. 그림에서 실제 관측한 상은 세로 막대로

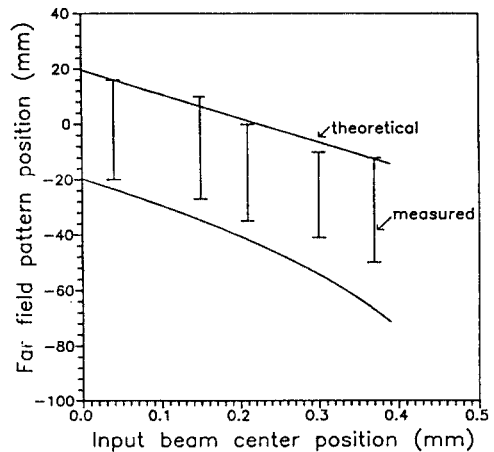


그림 4. 측정치와 컴퓨터 시뮬레이션과의 비교
Fig. 4. Comparison between the measured pattern and computer simulation.

표시하였고, 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 곡선으로 나타내었다. 상단의 곡선과 막대의 상단은 잘 일치함을 알 수 있으며, 하단의 경우 정확히 일치하지 않지만 렌즈의 중심에서 멀어지는 점에서 입사된 광은 렌즈로 입사할 때의 렌즈 표면 반사와 입사 후 굴절각 변화가 커져 상의 밝기(intensity)가 충분하지 못해 오차가 발생한 것으로 보인다. 실제 관측한 상으로부터 초점의 위치를 컴퓨터 시뮬레이션으로 구하여 그림 5에 나타내었다. 그림에서 x축 방향으로 최대 편차가

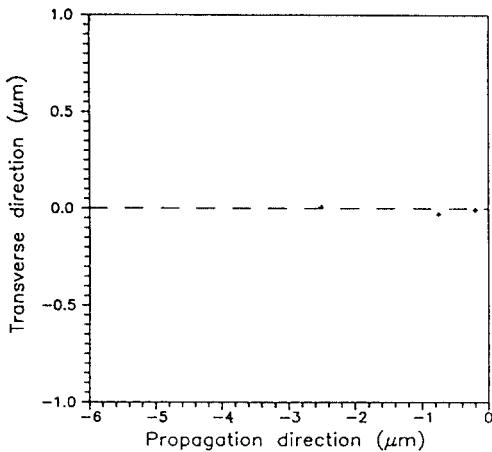


그림 5. 측정된 상에 의한 초점위치
Fig. 5. The position of the focal points of the measured patterns.

약 $5\mu\text{m}$ 이 되고, y축 방향으로는 약 $0.15\mu\text{m}$ 이내에 있다. 이는 설계한 평면 광도파로 렌즈의 초점의 위치와 잘 일치함을 알 수 있다.

평면 광도파로 렌즈의 초점 spot size를 근시야상(near field pattern)으로 측정된 사진을 그림 6에 나타내었다. 초점 spot size가 약 $3.4\mu\text{m}$ 으로서 이는 계산된 값 $3.2\mu\text{m}$ 과 측정시의 오차를 고려하면 잘 제작된 것으로 보인다.

V. 결 론

본 논문에서는 Y-cut LiNbO_3 기판 위에 TIPE 방식을 이용하여 평면 광도파로 렌즈를 제작하고 그 특성을 측정하였다. 먼저, Ti 내부 확산 평면 광도파로

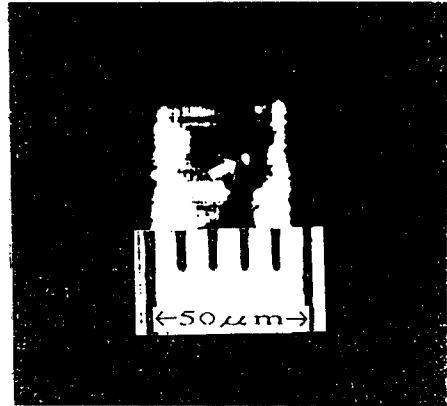


그림 6. 초점에서의 spot size
Fig. 6. Spot size at the focal point.

및 TIPE 평면 광도파로를 제작하고 프리즘 결합으로 굴절율을 측정하였다. 측정된 기본파 유효굴절율로부터 평면 광도파로 렌즈의 제작을 구하고, 300\AA 의 크롬 마스크를 증착시켜 사진식각법과 lift off 기법을 이용하여 렌즈형태의 창을 형성한 후, 양자교환을 실시하여 TIPE 평면 광도파로 렌즈를 제작하였다. 다음으로 기판의 양단면을 연마한 후, He-Ne 레이저를 이용하여 직접결합으로 그 특성을 관측하였다. 도파로를 따라 도파하던 광이 평면 광도파로 렌즈에 의하여 집중되는 현상을 관측하였고, 이를 길로부터 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 초점의 위치와 설계한 초점의 위치가 잘 일치하였고, 관측한 초점의 크기가 설계한 평면 광도파로 렌즈의 초점의 크기와 잘 일치함을 알 수 있었다. 이러한 특성은 설계한 평면 광도파로 렌즈가 잘 제작되었음을 보여준다.

참 고 문 헌

1. D.Y.Zang, "Waveguide optical planar lenses in LiNbO_3 theory and experiments," Opt. Commun., vol. 47, pp.248-250, 1983.
2. D.Y.Zang and C.S.Tsai, "Single-mode waveguide microlenses and microlens arrays fabrication in LiNbO_3 using Titanium indiffused proton exchanged technique," Appl. Phys. Lett., vol. 46, pp.703-705, 1985.

3. D.Y.Zang and C.S.Tsai, "Titanium-indiffused proton-exchanged waveguide lenses in LiNbO_3 for optical information processing," Appl. Optics, vol. 25, no. 14, pp.2264-2271, 1986.
4. S.Scottini, V.Russo, and G.C.Righini, "Geodesic optics : new components," J. Opt. Soc. Am., vol. 70, no. 10, pp.1230-1234, 1980.
5. S.K.Yao and D.E.Thomson, "Chirp-grating lens for guided wave optics," Appl. Phys. Lett., vol. 33, p. 635, 1978.
6. T.Suhara, S.Fujiwara, and H.Nishihara, "Proton-exchanged Fresnel lenses in $\text{Ti}:\text{LiNbO}_3$ waveguides," Appl. Optics, vol. 25, no. 19, 3379-3383, 1986.
7. H.Nishihara, M.Haruna, and T.Suhara, Optical integrated circuits, McGraw-Hill, 2nd Ed, pp.138-281, 1989.
8. S.C.Abrahams, et al., Properties of Lithium Niobate, EMIS Datareviews Series No. 5, 1989.
9. M.De Micheli, J. Botineau, P.Sibillot and D.B. Ostrowsky, "Fabrication and characterization of Titanium indiffused proton exchanged(TIPE) waveguides in Lithium Niobate," Opt. Commun., vol. 42, no. 2, pp.101-103, 1982.
10. J.L.Jackel, C.E.Rice, and J.J.Veselka, "Proton exchange for high-index waveguides in LiNbO_3 ," Appl. Phys. Lett., vol. 41, no. 7, 607-608, 1982.
11. A.L.Dawar, S.M.Al-Shukri, R.M.De La Rue, A.C.G. Nutt and G. Stewart, "Fabrication and characterization of Titanium-indiffused proton-exchanged optical waveguides in $\text{Y}:\text{LiNbO}_3$," Appl. Optics, vol. 25, no. 9, pp. 1495-1498, 1986.
12. 노대철, 이철규, 윤태훈, 김재창, 한정희, 이용탁, " $\text{Ti}:\text{LiNbO}_3$ 광도파로를 이용한 전기광학 격자형 광변조기 제작," 대한전자공학회 논문집, 제 26권, 제10호, pp.123-129, 1989.
13. 김재창, 전기광학 격자를 이용한 광연산장치 제작, '90 전기통신학술 연구과제 최종보고서, 1991.
14. 최성식, TIPE 방식에 의한 LiNbO_3 평면 광도파로 렌즈의 제작, 부산대학교 석사학위논문, 1992.
15. 정석문, 정종술, 최성식, 이기동, 윤태훈, 김재창, "TIPE 방식에 의한 LiNbO_3 평면 광도파로 렌즈의 제작," 대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집, 제14권, 제1호, pp.527-529, 1991.

본 논문은 '90통신학술단체육성지원금에 의하여 수행되었습니다.



鄭 浙 文 (Suk Moon Chung) 정희원
 1962년 3월 2일 생
 1985년 2월 : 부산대학교 전자공학과 졸업
 1987년 2월 : 부산대학교 전자공학과 (공학석사)
 1990년 3월~현재 : 부산대학교 전자공학과 박사과정

※ 주관심분야 : 광집적소자, 광컴퓨팅

崔 成 植 (Seong Shik Choi)

정희원

1967년 7월 14일 생

1990년 2월 : 부산대학교 전자공학과 졸업
 1992년 2월 : 부산대학교 전자공학과 (공학석사)
 1993년 2월~현재 : 대우통신 연구원
 ※ 주관심분야 : 광집적회로, 광컴퓨팅



尹 台 焄 (Tae Hoon Yoon) 정희원
 1956년 8월 24일 생
 1979년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업
 1982년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1986년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

1986년 11월~현재 : 부산대학교 전자공학과 조교수
 ※ 주관심분야 : 신경회로망, 광집적회로, 광컴퓨팅



金 在 昌 (Jae Chang Kim) 정희원
 1946년 2월 8일 생
 1969년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업
 1974년 2월 : 부산대학교 전자공학과 (공학석사)
 1979년 8월 : 알라바마대학교 전기공학과 (공학석사)

1981년 8월 : 알라바마대학교 전기공학과 (공학박사)
 1975년 3월~현재 : 부산대학교 전자공학과 교수
 ※ 주관심분야 : 신경회로망, 광집적회로, 광컴퓨팅