

# 광분배를 위한 Y-branch 제작과 광파이버와의 결합특성에 관한 연구

正會員 김 상 덕\*, 박 수 봉\*\*, 윤 중 현\*\*, 이 재 규\*\*\*, 김 중 빈\*\*\*

A study on the fabrication of Y-branch for optical power distribution and its coupling properties with optical fiber

Sang Dug Kim\*, Soo Bong Park\*\*, Jung Hyun Yun\*\*\*, Jae Gyu Lee\*\*\*,  
Jong Bin Kim\*\*\* *Regular Members*

※ 본 연구는 94년 한국학술진흥재단 지방대 육성 과제 연구비로 수행되었음.

## 요 약

본 논문에서는 광교환기와 광가입자망에 사용되어질 광분배용 소자 개발을 위해 LPCVD 방법으로 PSG박막을 제작하였다. 제작된 박막의 굴절률을 이용하여 유효굴절률 방법에 의해 3차원의 Rib형 광도파로를 2차원적인 유효굴절률 분포를 갖도록 근사한 후, 단일모드가 되기 위한 분산 특성을 시뮬레이션 하였다. Rib형 광도파로 최적 설계 조건인 피복층 3 $\mu\text{m}$ , 코어층 3 $\mu\text{m}$ , 완충층 10 $\mu\text{m}$ 일 때 4 $\mu\text{m}$ 에칭한 경우 코어폭이 4 $\mu\text{m}$ 에서 광분배 기능을 갖는 Y-branch를 BPM 시뮬레이션에 의해 설계한 결과 분기각  $\theta=0.5^\circ$ 일 때 z축방향으로 3000 $\mu\text{m}$ -6000 $\mu\text{m}$ 에 해당되는 분기점에서의 손실은 0.1581dB로 Y-branch 전체의 손실과 같음을 알 수 있었다.

제작된 Y-branch 광소자의 손실은  $\lambda=1.3\mu\text{m}$ 에서 열처리를 하지 않을 경우 1.6dB, 1000 $^\circ\text{C}$ 로 10분 동안 열처리한 경우 1.2dB이었으며, z축 방향으로 3000 $\mu\text{m}$ -6000 $\mu\text{m}$ 에 해당되는 분기점에서의 손실은 0.8dB 였다. 도파모드는 단일모드로 도파됨을 확인할 수 있었으며, 제작된 Y-branch와 광섬유를 결합하기 위하여 폭 150 $\mu\text{m}$ , 깊이 70 $\mu\text{m}$ , 에칭 각도 54 $^\circ$ 의 V-groove를 제작하였다. 제작된 V-groove에 광섬유를 삽입하여 고정한 후, Index matching oil을 주입하여 Y-branch와 결합하였다. V-groove에 광섬유를 고정하여 Y-branch와 결합할 경우의 결합손실은 0.34dB였으며, 고정한 후 Index matching oil을 주입하여 견고해진 경우의 결합손실은 0.14dB였다.

\* 동아전문대학 전기과

Dept. of Electrics, Dong-A college

\*\* 동신대학교 정보통신공학과

Dept. of Information & Communication Engineering,

DongShin University

\*\*\* 조선대학교 전자공학과

Dept. of Electronic Engineering, Chosun University

論文番號: 96174-0613

接受日字: 1996年 6月 13日

ABSTRACT

In this paper, we designed an optical power distribution device for application to an optical switching and an optical subscriber loop. We fabricated PSG thin film by LPCVD. Based on the measured index of fabricated thin film, rib-type waveguide was transformed to two-dimension by the effective index method and we simulated dispersion property to find a single-mode condition. We found that the optimum design parameters of rib-type waveguide are: cladding layer of  $3\mu\text{m}$ , core layer of  $3\mu\text{m}$ , buffer layer of  $10\mu\text{m}$ , and core width of  $4\mu\text{m}$ . Each side of the guiding region was etched down to  $4\mu\text{m}$  to shape the core. We used these optimum parameters of the rib-type waveguide with branching angle of  $0.5^\circ$  and simulated the Y-branch waveguide by the BPM simulation. Numerical loss in branching area was calculated to be 0.1581dB and equal to the total loss of the Y-branch.

The loss of the fabricated Y-branch waveguide on PSG film was 1.6dB at  $\lambda = 1.3\mu\text{m}$  before annealing but was 1.2dB after annealing at  $1000^\circ\text{C}$  for 10 minutes. Consequently, the loss of branching area from  $3000\mu\text{m}$  to  $6000\mu\text{m}$  in the z-direction was 0.8dB, and single-mode propagation was confirmed by measuring the near field pattern. For coupling the fabricated Y-branch waveguide with an optical fiber, we fabricated V-groove which was used as the upholder of optical fiber. An etching angle was  $54^\circ$  and the width and depth of guiding groove was  $150\mu\text{m}$ ,  $70\mu\text{m}$ , respectively. The optical fiber is inserted onto V-groove. Both the Y-branch and V-groove were connected through the index matching oil. Coupling loss after connecting Y-branch and the optical fiber on V-groove was 0.34dB and that after injecting index matching oil was 0.14dB.

I. 서 론

정보통신망의 급증추세에 따라 광섬유를 이용한 광회로로서 수백 또는 수천심선의 광주파수선풍, 광분배, 광선로 스위칭 등의 광신호 처리소자를 수용하기에는 한계가 있어 광통신망의 경제적 구성과 다양한 서비스를 수용할 수 있도록 평면상의 집적화된 광회로 소자들은 방향결합기, 광변조기, 광분배기, 주파수 다중화소자, 시분할 다중화소자, 광회로증폭기, 광공진기등 여러가지가 있으며 그 응용도 매우 다양하여 이에 대한 기술개발 및 새로운 광회로소자들의 개발이 요구되고 있다.<sup>(1-2)</sup>

광도파로는 광집적회로(Optical Integrated Circuit: OIC)를 구성하는 여러 광학소자 가운데 가장기본적인 전송소자로서 빛에 실린 신호의 내용을 그대로 보존한채 광신호를 전송하므로 광통신 소자를 설계하고 제작하는데 가장 기본적인 것이 광도파로에 대한 해석이다.<sup>(3)</sup>

현재 광집적 회로에 관한 연구는 주로 GaAs, LiNbO<sub>3</sub>, Si의 세가지 재료를 기판으로 하는 것이 주류를 이루고 있다.

LiNbO<sub>3</sub>는 손실율이 매우 낮으며 압전성이 뛰어나다는 점에서 많은 관심을 끌고 있지만 전기 및 광소자와의 집적이 곤란하고 광섬유와의 결합시 광손실이 문제가 되고 있다.<sup>(4-6)</sup>

Si를 기판으로 한 광집적 회로 소자의 특징은 기판 재료의 가격과 집적회로 제조공정의 정밀도와 신뢰도에 따르는 경제성을 중요한 인자로 고려하면 광파이버와 굴절율이 유사한 실리카 광도파로를 이용한 광집적회로 소자들이 주류를 이룰것으로 예상된다.<sup>(7,9)</sup>

따라서 소형이며 광커넥터를 사용하지 않고도 광섬유와 직접 결합<sup>(10-11)</sup>이 용이한 광도파로 구조의 광소자 연구 개발이 요구된다.

따라서 본 논문에서는 광가입자망에 사용되어질 광분배용 소자 개발을 위해 LPCVD<sup>(12)</sup>방법으로 제작한 인 침가 실리카 글래스(Phosphosilicate glass: PSG) 박막<sup>(13)</sup>의 굴절률을 이용하여 유효굴절률 방법에 의해 3차원의 Rib형 광도파로를 2차원적인 유효굴절률 분포를 갖도록 근사한 후, 단일모드를 갖는 분산 특성을 찾았으며 전파진행 방향으로  $\Delta z$  만큼 진행했을 때의 진계변화를 Taylor 급수에 의해 근사화한 후, 유한차분 근사식(finite difference approximation)을 이용

하여 Tridiagonal 행렬식을 갖도록 한 후, 이 행렬식의 연산작용에 의해 진행하는 광의 진행경로 및 광정보를 알 수 있는 BPM<sup>[4][5]</sup>에 의해 시뮬레이션한 후 Rib형 광도파로 최적설계 조건에 의해 Y-branch를 설계 하였다. 최적설계 조건에 의해 Cr마스크를 제작하고, Photo-lithography방법에 의하여 Y-branch 광도파로 패턴을 제작한 후 건식식각 공정에 의해 Y-branch 광도파로를 제작한다. 제작된 Y-branch 광도파로를 광섬유와 결합하기 위하여 광섬유 지지용 V-groove을 실리콘 기판에 제작한 후 접착제(UV curing epoxy)를 사용하여 V-groove에 고정된 광섬유와 Y-branch 광도파로를 결합하여 결합특성을 측정하였다.

## II. Y-Branch 설계 및 시뮬레이션

### 1. Y-branch 설계

액상 유기 재료인 TEOS(tetraethoxyiline)와 TMP(trimethylphospite)를 사용하여 LPCVD법으로 실리콘 기판위에 SiO<sub>2</sub> glass 도파박막을 제작하였다. 도파박막의 완충층(buffer layer)은 SiO<sub>2</sub> 실리카층을, 코어층(core layer)으로는 인(phosphorus)이 8% 첨가된 PSG(Phosphosilicate glass)층을, 피복층(clad layer)으로는 인이 3.7% 첨가된 SiO<sub>2</sub>층을 증착하였다. 제작된 도파박막을 Ellipsometer로 굴절율을 측정 한 결과 피복층, 코어층, 완충층의 굴절율은 각각 1.454, 1.465, 1.447임을 알 수 있었고 이러한 굴절율을 이용하여 완충층의 두께를 3-10 $\mu$ m로 변화시키면서 피복층이 3 $\mu$ m일 때 유효굴절율법에 의해 Rib형 광도파로에서 코어두께에 따른 단일모드 영역은 그림 1, 그림 2와 같다.

그림 1은 피복층 3 $\mu$ m, 완충층 10 $\mu$ m, 일때 유효굴절율법에 의해 코어두께를 변화시키면서 Rib형 도파로의 클래딩 영역에서 구한 종방향 mode index이며 단일모드 영역은 코어두께가 1.4-4.2 $\mu$ m 였다.

그림 2은 Rib형 도파로의 코어 영역에서의 종방향 mode index를 구한 결과로서 단일모드 영역은 코어 두께가 1.2-4.8 $\mu$ m임을 알 수 있었다.

한편, 완충층의 두께 3-10 $\mu$ m, 피복층의 두께 3 $\mu$ m, 코어층의 두께 3 $\mu$ m, 4.5 $\mu$ m로 변화 시키면서 에칭을 3-6 $\mu$ m로 변화 시킬때 유효굴절율법에 의해 Rib형 광도파

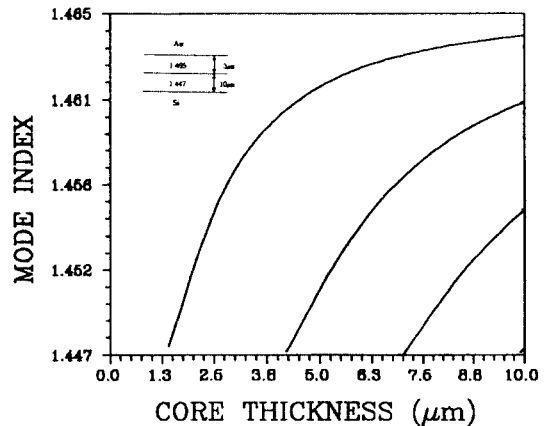


그림 1. Rib형 도파로의 클래딩 영역에서 분산곡선.  
( $\lambda = 1.3\mu\text{m}$ ,  $n_1 = 1$ ,  $n_2 = 1.465$ ,  $n_3 = 1.447$ )

Fig. 1. Dispersion curves of clad region of a rib waveguide, where  $\lambda = 1.3\mu\text{m}$ ,  $n_1 = 1$ ,  $n_2 = 1.465$ ,  $n_3 = 1.447$

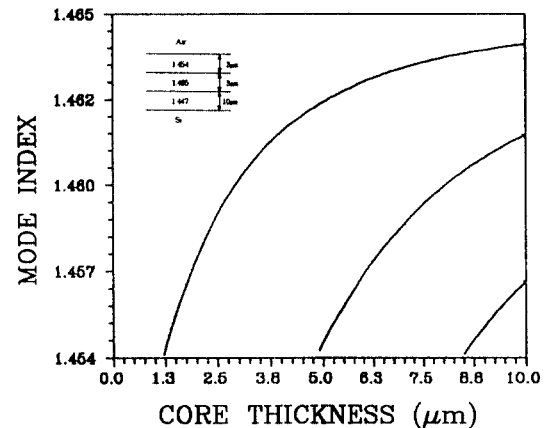


그림 2. Rib형 도파로의 코어 영역에서 분산곡선.

( $\lambda = 1.3\mu\text{m}$ ,  $n_1 = 1$ ,  $n_2 = 1.454$ ,  $n_3 = 1.465$ ,  $n_4 = 1.447$ )

Fig. 2. Dispersion curves of core region of a rib waveguide, where  $\lambda = 1.3\mu\text{m}$ ,  $n_1 = 1$ ,  $n_2 = 1.454$ ,  $n_3 = 1.465$ ,  $n_4 = 1.447$

로의 코어폭에 따른 단일모드 영역은 그림 3와 같고 코어폭이 0.1-4.4 $\mu$ m 범위 일때 단일모드 영역이 나타남을 알 수 있었다.

이와 같은 단일모드 영역에서 코어두께 및 코어폭을 변화시키면서 에칭조건에 따라 BPM에 의해 시뮬레이션한 결과 피복층 3 $\mu$ m, 완충층 10 $\mu$ m, 코어층 3 $\mu$ m, 에칭 4 $\mu$ m, 코어폭 4 $\mu$ m 일 때, 단일모드 영역이 최대가

되어 최적조건임을 알 수 있었다. Rib형 광도파로에 가우시안빔(Gaussian beam)을 입사한 경우의 BPM 시뮬레이션 결과 전체의 진행경로는 그림 4와 같고 손실곡선은 그림 5와 같이 손실은 없음을 알 수 있었다.

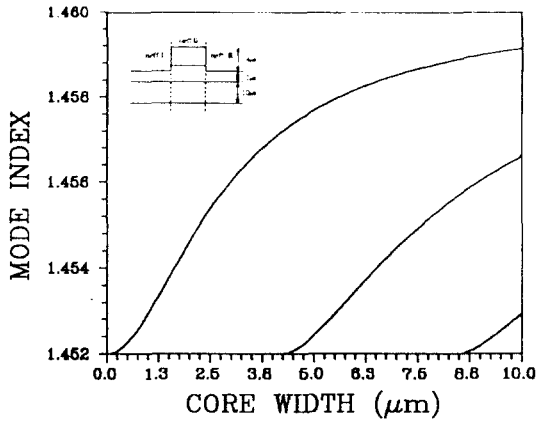


그림 3. Rib형 도파로의 분산곡선.  
 $(\lambda = 1.3\mu\text{m}, \text{neff I} = 1.45135894, \text{neff II} = 1.45616895, \text{neff III} = 1.45135894)$   
 Fig. 3. Dispersion curves of a rib waveguide, where  $\lambda = 1.3\mu\text{m}$ ,  $\text{neff I} = 1.45135894, \text{neff II} = 1.45616895, \text{neff III} = 1.45135894$

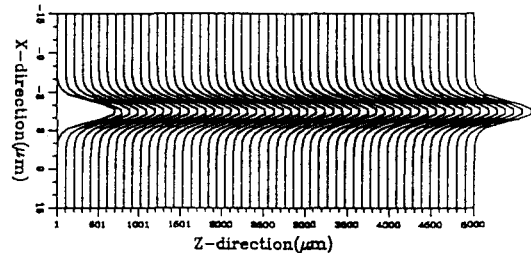


그림 4. Rib형 도파로의 BPM 시뮬레이션. (코어폭 =  $4\mu\text{m}$ )  
 Fig. 4. BPM simulation of a straight rib waveguide, where core width =  $4\mu\text{m}$

한편 Rib형 광도파로의 최적조건에 의해 그림 6과 같이 Y-branch를 설계하여 BPM에 의해 시뮬레이션 하였다.

그림 6과 같이 설계한 Y-branch의 x축 방향으로  $30\mu\text{m}$ , z축 방향으로  $20000\mu\text{m}$ , 분기각  $\theta = 0.5^\circ$ , branch와 branch간의 간격은 광파이버와의 결합을 고려

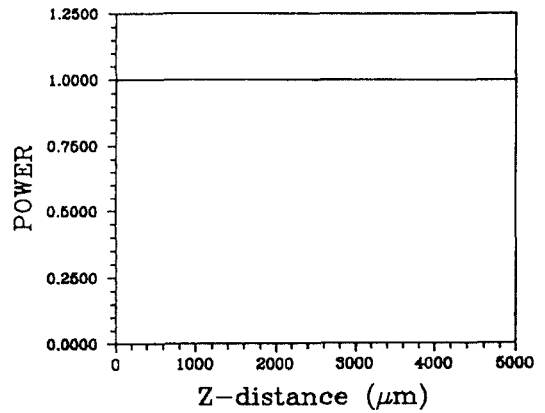


그림 5. Rib형 도파로의 BPM 시뮬레이션에 의한 손실곡선(코어폭 =  $4\mu\text{m}$ )  
 Fig. 5. Loss curve of a straight rib waveguide by BPM simulation, where core width =  $4\mu\text{m}$

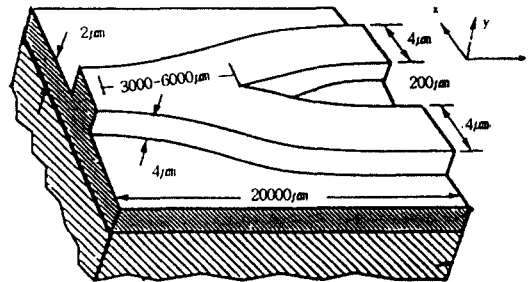


그림 6. Y-branch 설계  
 Fig. 6. Y-branch design

하여  $200\mu\text{m}$ 의 조건에서  $\Delta x = 0.1\mu\text{m}$ ,  $\Delta z = 1\mu\text{m}$ 씩 변화시키면서 시뮬레이션 하였다.

설계된 Y-branch의 유효굴절률 분포는 그림 7과 같이 정확히 배치됨을 알 수 있었으며 이때의 BPM 시뮬레이션 결과에 의한 가우시안빔의 진행은 그림 8과 같다.

z축 방향으로  $3000\mu\text{m}$ 에서 가우시안빔이 분배되기 시작함을 알 수 있고  $20000\mu\text{m}$ 에서 일정하게 분배됨으로 인하여 Y-branch에서 가우시안 빔이 일정하게 분배됨을 확인할 수 있었다. 가우시안빔이 z축 방향으로  $3000\mu\text{m}$  진행 했을 때의 손실은 Rib형 광도파로 이므로 손실은 없었으며,  $3000\mu\text{m}-6000\mu\text{m}$ 에서 BPM 알고리즘에 의한 Y-branch 분기점 손실은 그림 9와

값이 0.1581dB로 Y-branch 전체의 손실과 같음을 알 수 있었다.

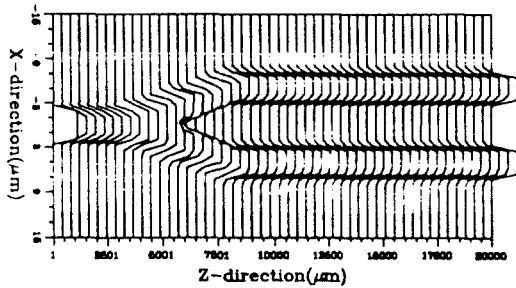


그림 7. Y-branch의 유효굴절률 분포  
Fig. 7. Effective index distribution of Y-branch

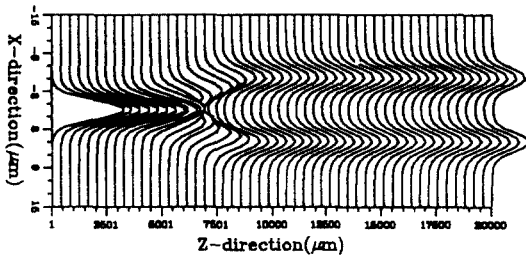


그림 8. Y-branch의 BPM 시뮬레이션에 의한 전계분포  
Fig. 8. Field distribution of Y-branch by BPM simulation

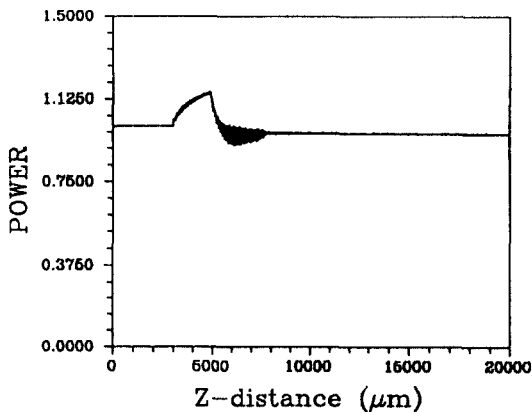


그림 9. Y-branch의 BPM 시뮬레이션에 의한 손실곡선  
Fig. 9. Loss curve of Y-branch by BPM simulation

### III. 실험

#### 1. 도파박막제작

액상유기재료인 TEOS(tetraethoxysilane)와 TMP(trimethylphosphite)를 이용하여 LPCVD법으로 Si기판위에 실리콘 기판위에 SiO<sub>2</sub> glass 도파박막을 제작하였다. 도파박막의 완충층으로 SiO<sub>2</sub>를 10μm, 코어층으로 인이 8% 첨가된 PSG(phosphosilicate glass)를 3μm, 피복층으로 인이 3.7% 첨가된 PSG를 3μm를 증착하여 도파박막을 제작하였다. 이때 SiO<sub>2</sub>층, PSG층은 각각 810℃, 710℃에서 500mTorr로 증착하였다.

#### 2. Y-branch 제작

BPM에 의한 시뮬레이션 최적치인 코어폭이 4μm, 분기각 0.5°, 분기점 3000μm, branch와 branch간의 간격은 광파이버 결합을 고려하여 200μm로 설계하여 Cr 마스크(한국 듀폰 Co.)를 제작하였다. PSG 도파박막 표면의 산화물이나 수분 등은 시편과 감광제와의 밀착성을 저해하므로 아세톤, 메탄올등으로 각20분씩 초음파 세척하고 증류수로 세척한후 질소로 불어낸다음 120℃ 오븐에서 5분동안 막건조(pre baking) 처리를 하여 수분을 완전히 제거하였으며 감광제는 spinner에서 4000rpm이상으로 30초동안 도포시켜 균일하게 하였다. 감광막과 기판과의 접착이 잘되도록 90℃의 오븐에서 25분동안 soft baking하여 감광막을 완전히 건조시킨 후 제작된 마스크를 사용하여 포토 리소그라피 방법으로 200W의 수온램프에서 10초간 노광한 후 AZ500현상액을 사용하여 30초동안 현상하여 도파로 패턴을 제작하였다.

P.R 패턴은 건식식각(RIE) 공정시 화학중합체의 다중화 현상에 의해 형성된 PR 패턴은 이온들의 충돌에 의하여 마모되고 특히 공정시 사용하는 O<sub>2</sub>에 의해 쉽게 손상되므로 건식마스크로 사용하기에는 적당치 않다. 따라서 magnetron sputtering법으로 1000Å 두께의 Cr 막을 증착하여 건식 마스크로 사용하여 P.R striper을 하여 Lift-off방법으로 건식마스크를 제작하였다.

건식 식각법에 의해 PSG층을 식각하였으며 Cr의 에칭은 18% Ceric Ammonium Nitrate와 5% Aceyic Acid 및 77% 증류수를 혼합하여 이를 1또는 2배의 증류수로 희석하여 Cr을 에칭하여 Y-branch를 제작

하였다. 제작된 Y-branch를 1000℃에서 약 10분간 열처리한 후 마지막 공정인 LPCVD증착법으로 인이 3.7%첨가된 3μm두께의 도파로의 피복층을 증착하였다.

이와 같은 Y-branch 제작 공정순서는 그림 10과 같다.

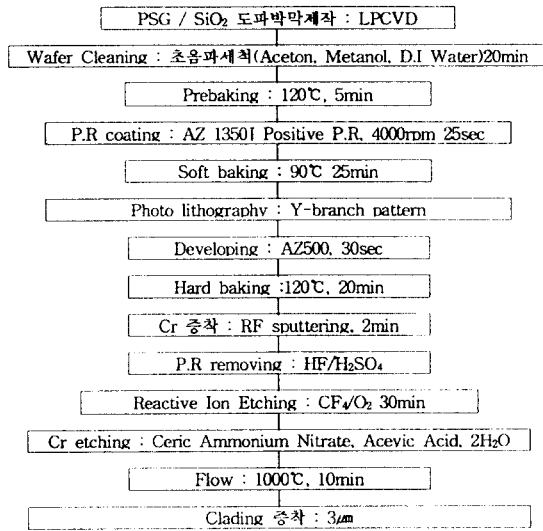
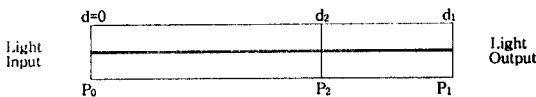


그림 10. Y-branch 제작공정  
Fig. 10. Process of Y-branch fabrication

3. Y-branch 손실측정 및 모드 관찰

도파로의 광손실 측정은 레이저 광을 현미경 대물렌즈로 집속시켜 도파로의 한쪽단면에 입사시키는 Butt coupling 방법과 도파로에 광을 입사하게 한후, 도파로를 잘라내 가면서 투과한 광의 세기를 측정하는 cut-back 방법을 사용 하였다. 도파로를 잘라가면서 도파로를 투과한 광의 세기와 도파로 길이로부터 다음 식을 이용하여 도파로의 손실율을 산출하였다.

$$Loss = -10\log(P_1/P_2)/(d_1 - d_2) \quad (1)$$



P<sub>0</sub>: 입사광의 세기, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>: 광의 세기, d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>: 도파로의 길이

또한 도파로의 코어에서 도파되는 모드를 관찰하기 위하여 도파로 끝단에서 near filed pattern을 적외선

비디콘과 현미경 렌즈 20x를 사용하여 관찰하였다.

4. V-groove제작.

제작된 광도파로와 광섬유를 저손실로 결합하기 위한 광섬유 지지용으로 V-groove 제작은 제작과정이 간단하고 비용이 적게 드는 실리콘 비등방성 에칭 기법을 이용하여 제작 하였다.

Y-branch와 광섬유를 결합하기 위해 실리콘의 표면과 광섬유코어 중심이 같은 평면에 놓이도록 하여야하므로 V-groove 폭을 결정하기 위하여 식(2)을 이용하였다.<sup>(22)</sup>

$$D = \frac{2R}{\sin\phi} \left( 1 + \frac{d}{2R} \cos\phi + \frac{0.5t}{R} \right) \quad (2)$$

여기서 D는 V-groove 폭, R은 파이버의 반경, d는 표면에대한 정규방향에서의 도파로두께, t는 SiO<sub>2</sub> 두께, φ는 실리콘의 에칭각도인 54.74°이며 광섬유 지지대로 사용하는 V-groove 제작 공정은 그림 11과 같다.

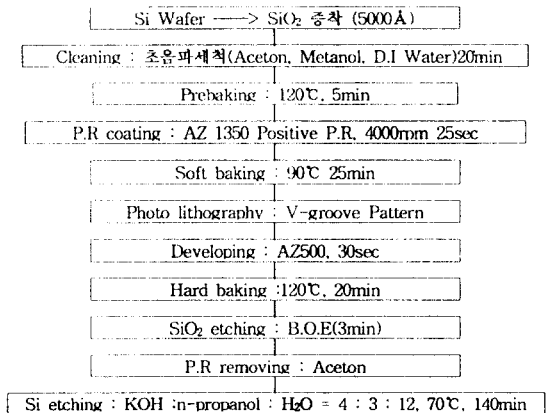


그림 11. V-groove 제작 공정  
Fig. 11. Processes of the V-groove fabrication.

5. Y-branch와 광섬유의 결합

제작한 V-groove에 광섬유(10/125)고정은 광섬유의 피복을 벗긴후 methylene chloride(CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>)용액으로 닦아내어 V-groove에 정확하게 정렬한다음 접착제를 사용하여 고정시킨후 가시광인 He-Ne 레이저를 광섬유에 입사하여 도파로의 입력단에 입사시켜 정

렬을 시도하였으며 광섬유를  $0.01\mu\text{m}$ 까지 제어가 가능한 미세이동용 x, y, z stage을 설치하여 정확한 정렬을 하였으며 출력단에서의 손실을 0dB에 가깝게 하기위하여 다중모드 광섬유(50/125)을 사용하여 결합하였다.

제작된 Y-branch 광도파로와 광섬유와의 결합 손실 측정에 사용된 광원은 He-Ne 레이저( $\lambda=0.6328$ ),  $1.3\mu\text{m}$  레이저 다이오드를 이용하여 결합 손실을 측정하였다.

#### IV. 결과 및 검토

액상유기재료인 TEOS와 TMP를 이용하여 LPCVD 법으로 Si 기판위에 BPM 시뮬레이션 최적조건에 의해 완충층으로  $\text{SiO}_2$ 를  $10\mu\text{m}$ , 코어층으로 인이 8% 첨가된 PSG를  $3\mu\text{m}$ , 피복층으로 인이 3.7% 첨가된 PSG를  $3\mu\text{m}$ 를 증착하여 도파박막을 제작하였다. 제작된 도파박막은 인의 농도가 증가함에 따라 굴절율이 증가함을 알 수 있었고 인의 농도가 감소함에 따라서 높은 온도로 열처리를 하여야 그 굴절율이 평행상태로 됨을 알 수 있었다. 이로부터 증착온도와 TMP의 유량이 박막의 굴절율에 큰 변수로 작용함을 알 수 있었다.

Y-branch는 시뮬레이션 최적조건을 이용하여 design tool에 의해 디자인하여 전자빔에 의해 제작된 마스크를 사용하여 패턴을 제작하였다. 또한 magnetron sputtering법으로  $1000\text{\AA}$  두께의 Cr 박막을 증착하여 건식마스크로 사용하여 P.R striper를 이용하여 Lift-off 방법으로 건식마스크를 제작하였다.

제작된 PSG 코어층을 건식식각(RIE)으로 식각하였으며 이때의 진공도는 150Torr였고, etching gas의 양은  $\text{CF}_4$  20sccm,  $\text{O}_2$  1.0 sccm으로 제작하였다.

제작된 Y-branch의 광손실 측정은 butt coupling 방법에 의해 광을 입사하게 한 후, 투과한 광의 세기는 cut-back 방법을 사용하였다.

Y-branch 광도파로의 광손실은 열처리를 하지 않은 경우  $\lambda=1.3\mu\text{m}$ 에서 1.6dB이었으며 실리콘 닛트형 전기로에서  $1000^\circ\text{C}$ 로 10분 동안 열처리한 경우 Y-branch 광도파로의 손실은  $\lambda=1.3\mu\text{m}$ 에서 1.2dB이었다. 위의 결과에 의해 열처리는 박막의 표면 상태를 균일하게 하여 식각 등에 의하여 생기는 거칠음에 의한 광산란

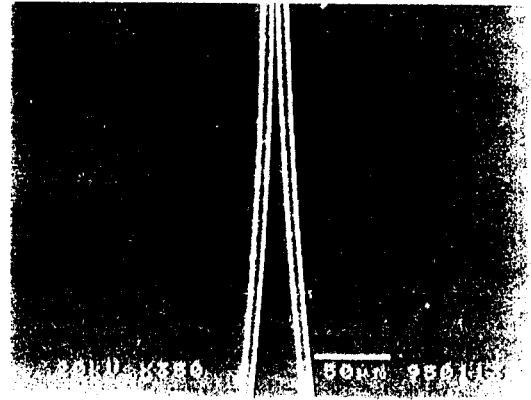


그림 12. 제작된 Y-branch의 표면  
Fig. 12. Surface of fabricated Y-branch

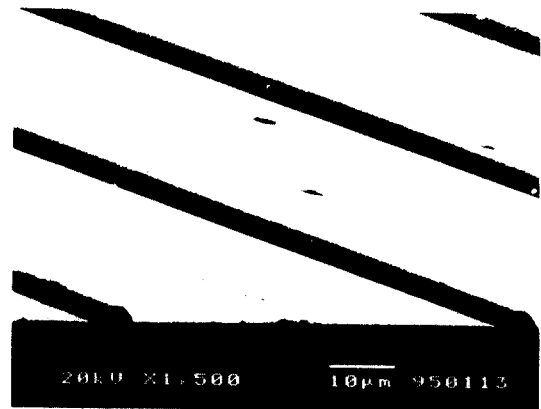


그림 13. 제작된 Y-branch의 단면  
Fig. 13. Cross-section of fabricated Y-branch

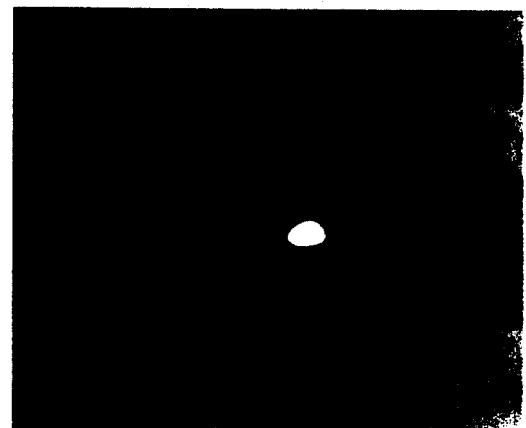


그림 14. 광도파로의 근접영상  
Fig. 14. Near field pattern of optical waveguide

을 제거해주어 광손실을 낮출 수 있었다.

Rib형 광도파로를 이용하여 제작된 Y-branch의 표면은 그림 12와 같고, 이때의 단면은 그림 13와 같으며, 3000 $\mu\text{m}$ 에서 도파광이 분배되기 시작함을 알 수 있었으며 3000 $\mu\text{m}$ -6000 $\mu\text{m}$ 에 해당되는 분기점에서의 손실은 0.8dB로 Y-branch전체의 손실과 차이가 없음을 알 수 있었다. 제작된 Y-branch 소자의 특성은 시뮬레이션 결과와 대체적으로 일치하였으나 분기점에서의 각  $\theta$ 의 크기에 따라 손실의 차가 많음을 알 수 있었다. 제작된 Y-branch를 end-fire coupling 방법에 의해 광도파로 코어에 도파되는 모드를 적외선 비디콘과 현미경 렌즈 20X를 사용하여 광도파로 끝단에서 near field pattern을 관찰한 결과 그림 14과 같이 단일모드로 도파됨을 관찰할 수 있었다.

제작된 Y-branch 광도파로와 광섬유를 결합하기 위하여 그림 15와 같이 V-groove를 제작하여 광섬유 지지대로 사용하였다.

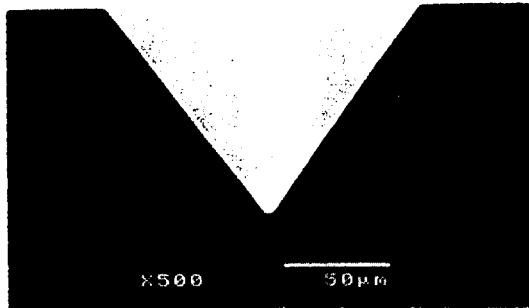


그림 15. 제작된 V-groove의 단면  
Fig. 15. Cross-section of fabricated V-groove

제작된 V-groove의 폭은 150 $\mu\text{m}$ , 깊이는 70 $\mu\text{m}$ 이었으며 에칭각도는 54°이었다. 광섬유를 제작된 V-groove에 삽입하여 고정한 후, Index matching oil(Fujickura Co.)을 사용하여 Y-branch와 결합하였다. 광섬유를 V-groove에 고정하고 Y-branch와 결합할 경우 결합손실은 0.34dB였으며, Index matching oil을 주입하여 견고해진 후의 결합손실은 0.14dB였다.

## V. 결 론

유효굴절률법과 광속전파방법을 이용하여 광도파로의 특성을 분석하고 해석한 후 Y-branch 광도파로를 설계하고 제작하였다. 그 결과 LPCVD 방법에 의해 제작된 PSG박막의 피복층, 코어층, 완충층의 굴절률은 Ellipsometer로 측정한 결과 각각 1.454, 1.465, 1.447이었다.

BPM 시뮬레이션에 의해 3차원 Rib형 광도파로는 피복층 3 $\mu\text{m}$ , 코어층 3 $\mu\text{m}$ , 완충층 10 $\mu\text{m}$ 일 때 4 $\mu\text{m}$  에칭한 경우 코어폭이 4 $\mu\text{m}$ 에서 최적조건임을 알 수 있었으며 Rib형 광도파로 최적조건에 의해 설계한 광분배용 Y-branch 광도파로는 분기각  $\theta=0.5^\circ$ 일 때 가우시안빔의 진행은 z축방향으로 3000 $\mu\text{m}$ 에서 분배됨을 알 수 있었고, 3000 $\mu\text{m}$ -6000 $\mu\text{m}$ 에 해당되는 분기점에서의 손실은 0.1581dB로 Y-branch 전체의 손실과 같음을 알 수 있었다.

제작된 Y-branch 광도파로의 광손실은  $\lambda=1.3\mu\text{m}$ 에서 열처리를 하지 않을 경우 1.6dB, 1000 $^\circ\text{C}$ 로 10분 동안 열처리한 경우 1.2dB이었으며, z축 방향으로 4000 $\mu\text{m}$ -6000 $\mu\text{m}$ 에 해당되는 분기점에서의 손실은 0.8dB였다. 도파모드는 단일모드로 도파됨을 확인할 수 있었으며 시뮬레이션 결과와 대체적으로 일치하였으나 분기점에서의 각  $\theta$ 의 크기에 따라 손실의 차가 많음을 알 수 있었다.

광섬유를 V-groove에 고정하고 Y-branch광도파로와 결합할 경우 결합손실은 0.34dB였으며, Index matching oil을 주입하여 견고해진 후의 결합손실은 0.14dB였다.

## 참 고 문 헌

1. R.C. Alferness, R.V.Schmidt, and E.H.Turner, "Characteristics of Ti-In diffused Lithium Niobate Optical Directional Coupler," Appl. Optics, Vol.18, p.4012, 1979.
2. S.K.korotky, G.Einstein, R.S.Tucker, J.J.Veselka, and G.Raybon, "Optical Intensity Modulation to 40GHz using a waveguide electro optic Modulator," Appl. Phy. Latt, Vol 50, p.1603, 1987.
3. H.Nishihara, M.Haruna, and T.Suhara, "Optical



- Integrated Circuits," McGraw-hill, New York, 1989.
4. L.D.Hutcheson, "Integrated optical circuits and components," New York, p.1, 1987.
  5. R.C Alferness, "Optical Guided-Wave Devices," Science 234, pp.25-829, 1986.
  6. L.Thylen: "Integrated Optics in LiNbO<sub>3</sub>:Recent Developments in Devices for Telecommunications," J. of Lightwave. Tech., Vol.6, No.6, pp.847~861, 1988.
  7. M.A.Sekerka-Brijbus, G.L.Yip, N.GOTO, "BPM Design Optimization and Experimental Improvement of a Ti:LiNbO<sub>3</sub> Ridge Waveguide Linear-Mode Confinement modulator," J. of Lightwave Tech., Vol.8, No.11, pp.1742~1749, 1990.
  8. C. H. Henry, R. F. Kazarinov, H. J. Lee, K. J. Orlowsky, and L. E. Katz, Low loss Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-SiO<sub>2</sub> optical waveguide on Si, Appl.optics., Vol. 26, No. 13, 1987.
  9. L. D. Hutcheson, "Integrated optical circuits and components," New York, pp.1, 1987.
  10. J.T.Boyd and S.Sriram, "Optical coupling from fibers to channel waveguides formed on silicon," Appl. optics, Vol. 17, pp.895-898, 1978.
  11. Y.Yammada, M.Kawachi, M.Yasu, M.Kobayashi, "Optical fibers coupling to high-silica channel waveguides with fiber-guiding groove," Electron. Lett, Vol.20, pp.313-314, 1984.
  12. M.Z.Peter, Z.H.Tim, M.B.Daivid, and D. Gregory, Measurement and Control of the Boron and Phosphorus Concentration in LPCVD Borophosphosilicate Glass, J. electrochem. Soc. 137(12), p. 3917, 1990.
  13. R.M.Levin and A.C.Adams, Low Pressure Deposition of Phosphosilicate Glass Films, J.Electrochem. Soc., 129, 1588, 1982.
  14. A.Neyer, W.Mevenkamp, L.Thylen and B.Lagerstrom, "A Beam Propagation Method Analysis of Active and Passive Waveguide Crossings," IEEE J. Lightwave Tech., vol. LT-3, pp.635~642, 1985.
  15. D. Yevick and B. Hermansson, "New Formulations of the Matrix Beam Propagation Method: Application to Rib Waveguides," IEEE J. of Quantum Electronics, vol.25, No.2, pp.221~229, 1989.
  16. H.Nishihara M.Haruna, T.Suhara:, "Optical Integrated Circuit," McGraw-Hill, 1989.
  17. M.Rangaraj, M.minakata, S.kawakami, "Low loss Integrated Optical Y-branch," J. of lightwave technology, Vol. 7, No. 5, pp. 753~758, 1989.
  18. R.C.Alferness, W.K.Burn, "Guided-Wave Optoelectronics," Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1988.
  19. Y.Chung and N.Dagli, "An Assessment of Finite Difference Beam Propagation Method," IEEE J. of Quantum Electronics, vol.26, No.8, pp.1335~1339, 1990.
  20. C.H. Henry, B.H.Verbeek, "Solution of the Scalar Wave Equation for Arbitrarily Shaped Dielectric Waveguides by Two-Dimensional Fourier Analysis," J. of lightwave technology, Vol. 7, No. 2, pp. 308~313, 1989.
  21. H.Press, B.P.Flannery, S.A.Teukolsky, and W.T. Vetterling, "Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing Second Edition, Chap.11 pp.474-481," Cambridge University Press, London, 1992.
  22. J.T.Boyd, S.sriram. "Optical coupling from fibers to channel waveguides formed on silicon," Appl. optics, Vol17, No6, p.896, 1978.
- |                      |     |
|----------------------|-----|
| 김 상 덕(Sang Dug Kim)  | 정회원 |
| 한국통신학회지 제20권 제3호 참조  |     |
| 박 수 봉(Soo Bong Park) | 정회원 |
| 한국통신학회지 제20권 제3호 참조  |     |
| 윤 중 현(Jung Hyun Yun) | 정회원 |
| 한국통신학회지 제20권 제3호 참조  |     |
| 이 재 규(Jae Gyu Lee)   | 정회원 |
| 한국통신학회지 제20권 제3호 참조  |     |
| 김 종 빈(Jong Bin Kim)  | 정회원 |
| 한국통신학회지 제20권 제3호 참조  |     |