

## PSG 광도파박막을 이용한 1.3/1.55 $\mu\text{m}$ WDM Coupler의 설계 및 제작\*

전 영 윤

한국전자통신연구소

김한수 · 이용태 · 이형종

전남대학교 물리학과

(1994년 12월 21일 받음)

유한영역에서의 조화함수전개법으로 인접한 두 도파로 코어 중심간의 거리 및 도파로 변수에 따른 결합길이를 계산하여 1.3/1.55  $\mu\text{m}$  WDM coupler를 설계하였다. 저압화학기상증착법에 의해 PSG 도파박막을 제작하고 laser lithography와  $\text{CF}_4/\text{O}_2$  RIE 공정 등을 이용하여 WDM coupler를 제작하였다. 또한 광섬유를 지지 및 고정하기 위하여 Si 기판 위에 V-groove를 만들었으며 제작된 WDM coupler와 V-groove로 지지된 광섬유를 UV curing epoxy를 사용하여 접속하였다. 제작된 WDM coupler의 1.3  $\mu\text{m}$ , 1.55  $\mu\text{m}$ 에서의 분지별 도파모드를 관측하고 분할비를 측정한 결과 최대 분할비는 각각 9 dB, 12 dB였다.

### I. 서 론

광대역, 저손실 특성을 가진 광섬유는 영상서비스 뿐만 아니라 다양한 통신서비스가 동시에 전송가능하며, 실시간 개념을 가지는 양질의 서비스가 제공될 수 있어야 한다. 광섬유는 수동부품이기 때문에 스스로 자신의 열화나 고장정보를 발신한다던가 원래의 상태로 복구되는 것도 불가능하다. 따라서 열화 및 고장 등의 자동 원격 선로감시를 위하여 운용중인 광섬유에 시험광 입출력의 자유로운 길을 제공할 수 있는 광수동소자가 사용되어야 한다. 이러한 기능은 광섬유 coupler(2×2)가 할 수 있지만, 광섬유 coupler는 광섬유의 공간배열 및 구부림 특성에 의하여 부피가 클 수밖에 없다. 따라서 소형이며, 장래 실장 밀도를 높일 수 있으며, 광커넥터를 사용하지 않고서도 광섬유나 광능동소자와 직접 결합이 용이한 Optical Waveguide(OWG) 구조의 광회로소자의 연구가 이루어지고 있다. 광회로 기술로서는 지금까지 GaAs/InP,<sup>[1]</sup> LiNbO<sub>3</sub>,<sup>[2]</sup> Si,<sup>[3]</sup> Polymer<sup>[4]</sup> 등의 다양한 재료 및 기능소자들의 연구가 이루어져 왔으나, 근래에는 광통신, 광신호처리 및 광센서 등에 사용되는 광섬유와

결합이 용이한 실리카 재료의 광회로가 각광을 받고 있다. 이는 저손실과 소형인 특성을 가지면서 광섬유와 같은 재료로 융착연결 및 모드결합의 용이성과 대량생산에 따른 저가격화가 가능하기 때문이다.

현재까지 개발된 실리카 및 유리(glass) 광회로기술의 주요한 연구로는 NTT의 실리카 Flame Hydrolysis Deposition(FHD) 기술,<sup>[5]</sup> AT & T<sup>[6]</sup> 및 LETI<sup>[7]</sup>의 CVD (Chemical Vapor Deposition)/HIPOX(High Pressure Oxidation) 기술, 이온교환 유리 도파로<sup>[8]</sup> 등을 들 수 있다. 특히 Si를 기판으로 하는 CVD 및 FHD 방법으로 제작된 실리카 광회로소자는 기존의 Si 공정기술을 이용할 수 있고, Si 전자회로와 함께 집적할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 단일모드 광섬유와의 결합이 용이하며, 광섬유형에 비하여 소형화(집적화)가 가능하고, 1.3  $\mu\text{m}$  파장대 광전송이 이루어지고 있는 광섬유를 1.55  $\mu\text{m}$  파장대 광원으로 접속(access)할 수 있는 기능을 갖도록 실리콘 기판 위에 CVD 법으로 1.3/1.55  $\mu\text{m}$  Wavelength Division Multiplexor(WDM)을 제작하고 그 특성을 분석하였다. WDM을 제작하기 위하여 유한영역에서의 조화함수전개법으로 인접한 두 도파로 코어 중심간의 거리에 따른 결합길이를 계산하여 1.3/1.55  $\mu\text{m}$  WDM을 설계하였다. Si 기판 위에 SiO<sub>2</sub>기저층, Phospho-Silicate

\*본 연구는 1993년 전자통신 연구소의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

Glass (PSG) 도파층을 만들기 위해 저압화학기상증착법 (Low Pressure Chemical Vapor Deposition: LPCVD)을 사용하였으며, 증착된 박막으로 도파로 패턴제작, 식각 공정, 불순물 제거 및 열처리 등의 공정을 이용하여 실리콘 기판 위에 광도파로형 WDM을 제작하였다. 제작된 WDM과 접속하기 위하여 V-groove를 만들었으며, 광섬유가 실장된 V-groove와 제작된 WDM을 연결하여 WDM의 특성을 분석하였다.

## II. WDM의 설계 및 제작

도파층으로 사용되는 PSG에는 인(P)을 첨가하여 순수 석영유리 보다 녹는점을 낮출 수 있을 뿐만 아니라, 굴절률을 높일 수 있다. 따라서 PSG도파로는 1000°C 근방의 온도에서의 열처리 공정동안 유화(flow)되며, 이때 PSG의 표면장력에 의하여 도파로의 도파층이 반원모양으로 형성된다.<sup>[9]</sup> 이러한 반원형 단면을 갖는 광도파로에서 광전파의 이론적 해석을 위하여 유한영역에서의 조화함수전개법을 사용하였다. 이 방법은 도파로의 도파층과 덮개층 간의 굴절률 차가 매우 작을 때 잘 맞는 방법으로서 PSG 도파로는 주로 광섬유에 연결되어 사용되는 굴절률 차가 작은 도파로이기 때문에 이 방법은 PSG 도파로에 대한 좋은 근사 계산법으로 사용되고 있다. 이 방법을 요약하면 다음과 같다.<sup>[10,11]</sup>

광도파로를 통해 전송되는 도파모드의 전기장이 z축을 따라서 전파시 광도파로단면에서의 굴절률을  $n(x, y)$ 라던 단면에서의 전기장은 다음 식을 만족한다.

$$\begin{aligned} & \{\nabla_x^2 + \kappa^2(n(x, y)^2 - N_{eff}^2)\} E_x \\ &= -\frac{\partial}{\partial x} \left\{ E_x \frac{\partial}{\partial x} (\log n(x, y)^2) \right. \\ & \left. + E_x \frac{\partial}{\partial y} (\log n(x, y)^2) \right\}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \{\nabla_y^2 + \kappa^2(n(x, y)^2 - N_{eff}^2)\} E_y \\ &= -\frac{\partial}{\partial y} \left\{ E_x \frac{\partial}{\partial y} (\log n(x, y)^2) \right. \\ & \left. + E_x \frac{\partial}{\partial x} (\log n(x, y)^2) \right\}, \end{aligned}$$

여기서  $\nabla_x$ 는 광도파로 단면에서의 미분연산자이고  $\kappa$ 는 진공에서의 빛의 전파상수이며,  $N_{eff}$ 는 유효 굴절률이다. 만일 도파로 단면에서의 굴절률 변화가 아주 작으면 이 경우 광도파로를 통해 전송되는 도파모드의 편광특성은 무시될 수 있으며 식 (1)의 오른쪽 굴절률 변화의 항들도

무시되어 벡터 파동방정식은 다음의 스칼라 파동함수로 적혀질 수 있다.<sup>[11,12]</sup>

$$\{\nabla_x^2 + \kappa^2(n(x, y)^2 - N_{eff}^2)\} E(x, y) = 0 \quad (2)$$

여기서  $E(x, y)$ 는 전기장의 단면성분으로서  $E_x$ 나  $E_y$ 를 나타낸다. 식 (2)에서 유효굴절률  $N_{eff}$ 를 구하기 위하여 계산영역을 가로와 세로가 각각  $L_x, L_y$ 인 네모꼴로 택한다. 네모꼴은 모양도 간단하고 간단한 조화함수를 바탕함수로 쓸 수 있으므로 이 영역에서의  $E(x, y)$ 를 전개할 때 다음과 같은 조화함수를 쓴다.

$$\phi_{m,n}(x, y) = \frac{2}{\sqrt{L_x L_y}} \sin\left(m\pi \frac{x}{L_x}\right) \sin\left(n\pi \frac{y}{L_y}\right) \quad (3)$$

$$(m = 1, 2, \dots, N_x, n = 1, 2, \dots, N_y)$$

이 바탕함수가 다음과 같은 직교성을 지니고 있음은 쉽게 확인할 수 있다:

$$\begin{aligned} \langle \phi_{mn}, \phi_{m'n'} \rangle &= \int_0^{L_x} dx \int_0^{L_y} dy \phi_{mn}(x, y) \phi_{m'n'}(x, y) \\ &= \delta_{mm'} \delta_{nn'} \end{aligned} \quad (4)$$

도파모드를 나타내는 파동함수  $E(x, y)$ 는 이 바탕함수를 써서 다음과 같이 전개할 수 있다:

$$E(x, y) = \sum_{m=1}^{N_x} \sum_{n=1}^{N_y} C_{mn} \phi_{mn}(x, y) \quad (5)$$

식 (5)를 식 (2)에 대입하여 직교성 (4)를 이용하여 정리하면 전개계수  $C_{mn}$ 는 다음과 같이 행렬방정식을 만족시켜야 함을 볼 수 있다:

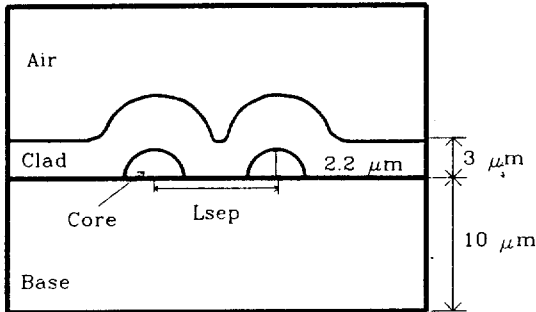
$$\begin{aligned} & \sum_{m',n'} A_{mnn'} C_{m'n'} = N_{eff}^2 C_{mn} \\ A_{m,n',m'} &= \frac{1}{k_0^2} \left[ \left( m \frac{\pi}{L_x} \right)^2 + \left( n \frac{\pi}{L_y} \right)^2 \right] \delta_{mm'} \delta_{nn'} \\ & + \langle \phi_{mn}(x, y), n^2(x, y) \phi_{m'n'}(x, y) \rangle \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 기호 “ $\langle \rangle$ ”는 전 네모꼴 계산영역에서  $x$ 와  $y$ 로 중적분함을 뜻한다.  $E(x, y)$ 에 관한 고유값 방정식 (2)가 이제는 행렬  $A_{m,n',m'}$ 에 대한 고유값 방정식으로 바뀌었음을 볼 수 있다. 그러므로 광도파로의 고유모드를 구하려면 행렬요소  $A_{m,n',m'}$ 를 광도파로 단면에서의 굴절률 분포에 따라 계산한 다음, 이 행렬의 고유값과 고유벡터를 구하면 된다. 이때 고유값은 유효굴절률 제곱으로 나타나고 고유벡터가 전개계수로 된다.

위와 같은 광도파로 해석에서 광도파로와 광섬유와의 연결효율은 광섬유에 대해서도 광도파로와 동일한 갯수

표 1. 설계된 구조에서의 각 층의 굴절률

층	굴절률	
	1.3 μm	1.55 μm
덮개층	1.4538	1.4528
도파층	1.4620	1.4600
기저층	1.4470	1.4450



박막계	SiO <sub>2</sub> 층에 첨가된 Phosphorus wt%
clad	3.7 %
core	8 %
base	0 %

그림 1. 설계된 광도파로 구조.

의 바탕합수와 네모꼴 계산영역을 사용하여 광섬유에 대한 단면에서의 전기장분포를 구한 다음, 이 둘의 전기장을 전 적분 공간에 대하여 중적분 하면 얻을 수 있다. 이 계산 결과는 두 전개 계수의 곱의 합으로 구해진다.<sup>[12]</sup> 방향성결합기의 완전결합길이(L<sub>c</sub>)는 다음과 같다.

$$L_c = \frac{\lambda}{2(N_e - N_o)} \tag{7}$$

위 식에서 N<sub>e</sub>는 최저차 대칭모드 유효굴절률, N<sub>o</sub>는 비대칭 모드의 유효굴절률, λ는 입사광의 파장을 나타낸다.

### 1. WDM 설계

그림 1은 Si 기판 위에 SiO<sub>2</sub> 기저층 10 μm, PSG 도파층 2.2 μm, PSG 덮개층 3 μm인 구조로서, 이 구조에 대하여 유한영역에서의 조화함수전개법을 사용하여 WDM을 설계하였다. 그림 1의 광도파로 구조에 대하여 도파로 중심간의 거리에 따른 유효굴절률을 입사광의 파장 1.3 μm, 1.55 μm 각각에 대하여 최저차 대칭 모드와 비대칭 모드를 계산한 결과를 그림 2에 나타내었다. 각

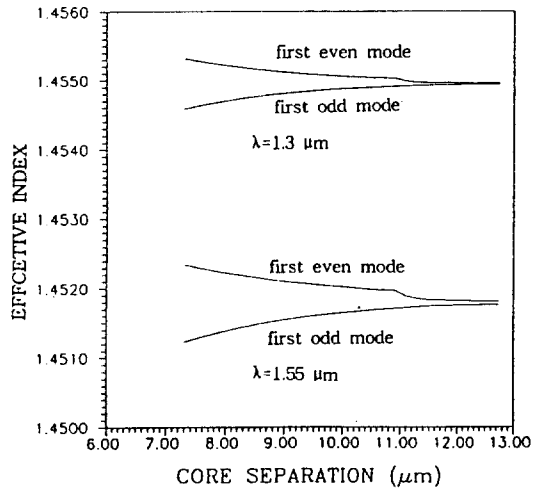


그림 2. 도파로 중심간의 거리에 따른 1.3 μm, 1.55 μm에서의 유효굴절률.

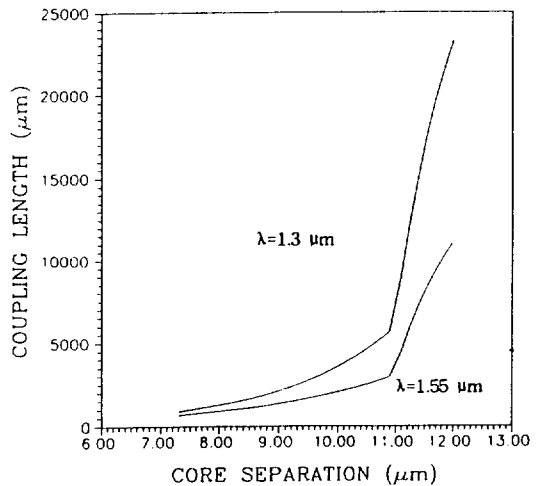


그림 3. 도파로 중심간의 거리에 따른 1.3 μm, 1.55 μm에서의 결합길이 변화.

파장에서 도파로를 통해 도파되는 모드의 유효굴절률은 도파층과 덮개층의 박막 굴절률 사이값을 갖는다. 도파로 중심간의 거리가 커질수록 대칭모드의 유효굴절률과 비대칭 모드의 유효굴절률 차이가 작아짐을 알 수 있다. 그러므로 도파로 중심간의 거리가 커지면 대칭모드와 비대칭모드가 서로 축퇴되어 더 이상 두 도파로 사이의 결합 특성을 기대할 수 없다.

그림 2의 대칭 모드와 비대칭 모드와의 차이로부터 식 (7)을 이용하여 구한 각 파장대의 결합길이가 그림 3이다. 덮개층의 두께를 3 μm, 도파로 폭을 5 μm로 하

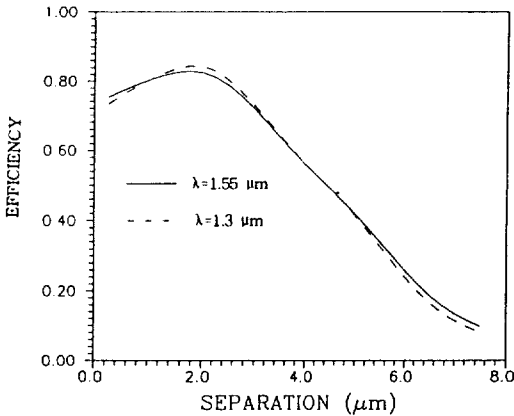
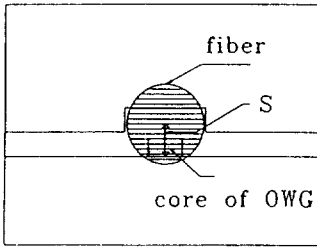


그림 4. 광섬유 코어와 도파로 코어간의 상하방향거리 (s)에 따른 모드결합효율.

었기 때문에 두 도파로의 중심간 거리가 11 μm일 때 결합길이가 급격하게 변하고 있었다. 이는 반원형 광도파로를 사각형으로 근사하여 계산하였으므로, 도파로 중심간의 거리는 코어층 밑면과 덮개층 두께의 두배, 그리고 덮개층사이의 공기막의 간격의 합이기 때문에 도파로 중심간의 간격이 11 μm 이하일 때는 덮개층사이에 공기막이 없다가 11 μm 이상이면 공기막의 효과가 있기 때문이라고 판단된다. 1.3/1.55 μm 파장대의 WDM 특성을 갖기 위해서는 그림 6에서 1번 입력단 분지로 들어간 광이 1.3 μm 파장이라면 3번 출력단 분지로 유도되고, 1.55 μm 파장이라면 4번 출력단 분지로 유도되어야 하므로 결합길이 Lc가 1.3 μm 파장의 광에 대해서는 결합길이의 2배, 1.55 μm 파장에 대해서는 결합길이의 3배가 되면 된다. 즉 다음과 같은 관계를 만족하여야 한다.

$$2L_{1.3} = 3L_{1.55} \quad (8)$$

이때 L은 중심간의 거리(s)가 9.4 μm일 때 각 파장에서 결합길이이다. 그림 3으로부터  $2L_{1.3} = 3L_{1.55} \approx 5000 \mu\text{m}$ 임을 알 수 있었으며, 이 결과에 따라 WDM을 제작하였다. 제작된 WDM이 광섬유와 같은 재료인 실리카로 이루어져 이들 사이의 높은 모드 결합 효율을 기대할 수 있다. 광섬유 코어의 지름을 10 μm로 하였을 때 광

표 2. WDM 제작공정도

PSG/SiO <sub>2</sub> /Si 도파박막 제작: TEOS/PH <sub>3</sub> /O <sub>2</sub> LPCVD
cleaning: acetone-methanol-DI water
prebaking: 120°C, 5 min
P.R. coating: AZ 1350 J positive, 4000 rpm
softbaking: 90°C, 25 min
laser litho.: He-Cd laser 0.001 mW
developing: Waycoat, 10 sec
hardbaking: 120°C, 25 min
lift-off: Cr sputter→P.R. strip
RIE: CF <sub>4</sub> /O <sub>2</sub> =20/0.8, 150 W, 30 min, Cr mask
flowing: 1000°C, 10 min
PSG 덮개층 제작: TEOS/PH <sub>3</sub> O <sub>2</sub> LPCVD

섬유 코어와 도파로 도파층간의 상하방향 거리(s)에 따른 모드 결합 효율을 그림 4에 나타내었다. 상하방향 거리가 2 μm일 때, 즉 도파로 도파층이 광섬유의 코어의 아래 중심에 놓인 경우에 각 파장 모두 80% 이상의 결합 효율을 보였다.

2. 1.3/1.55 μm WDM의 제작

설계된 1.3/1.55 μm WDM을 제작하기 위한 표 2와 같은 공정을 확립하였다. 광도파박막계를 제작하기 위해 저압화학기상증착법을 이용하였으며 사용된 박막 증착 재료로는 TEOS(tetraethylorthosilicate), PH<sub>3</sub>, O<sub>2</sub>였다. 두께 10 μm SiO<sub>2</sub> 기저층은 TEOS/O<sub>2</sub>: 10/10 sccm의 유량과 700°C의 온도에서 약 30시간 증착하였으며, 두께

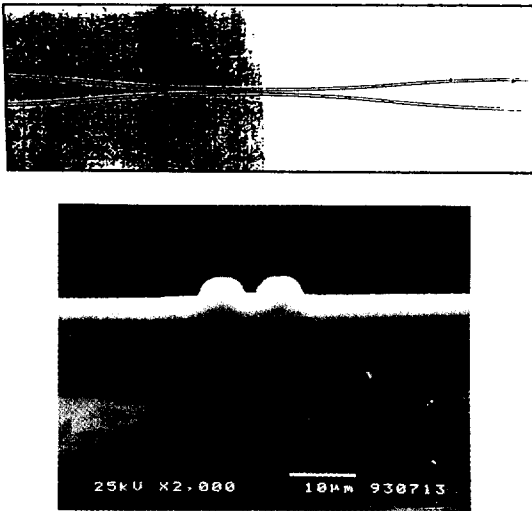


그림 5. 제작된 WDM의 표면 및 단면사진.

2.2 μm의 PSG 도파층은 TEOS/O<sub>2</sub>/PH<sub>3</sub>: 10/10/3 sccm의 유량과 650°C의 온도에서 약 2시간 증착하였다. 증착된 박막은 prism coupling법으로 두께와 굴절률을 측정하였다.

WDM의 패턴은 레이저 빔과 e-beam으로 제작된 mask를 사용하였다. 감광제(photo resist) 패턴은 건식 식각 공정시의 mask로 부적합하므로 강한 재질의 mask 패턴을 제작하는 것이 필요하다. 이를 위해서 특성이 좋은 양성감광제(positive P.R.)를 이용한 lift-off 공정연구를 통하여 Cr-mask를 제작하였다. 감광제 제거를 쉽게 하기 위해 28°C의 MCB(monochlorobenzene)용액에서 10분간 담가 감광제의 표면이 경화되도록 하였다. lift-off 공정에서 현상 후 Cr을 sputtering법으로 약 3000 μm 증착한 후 초음파에 의한 감광제 제거로 양질의 Cr-mask를 제작하였다.

RIE(reactive ion etching)에 의한 건식식각에서 PSG 층 식각에 사용한 가스는 CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>였으며 O<sub>2</sub>의 혼합 비율은 4%였다. 식각률은 초기 진공도와 rf power에 강하게 의존하며, 30 kHz, 100 Watt의 조건에서 식각률은 1000 μm/min이었다. 인이 첨가된 광도파박막에 만들어진 도파로는 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-SiO<sub>2</sub>의 연화(softening)온도가 800~1000°C 정도로 낮으므로, 이 성질을 이용하여 RIE 공정 후 제작된 도파층을 1000°C에서 약 10분간 열처리하면 도파층의 단면이 직사각형에서 반원형으로 된다. 이때 공정 중에 발생한 불순물이 제거되고 광산란 손실이 감소하며, 그 형태가 반원형으로 변하기 때문에 광섬유와 접속시 기하학적인 형태가 유사하게 되어 높은 모드 결합

효율을 얻을 수 있다. 열처리 공정 후 덮개층을 저압화학기상증착법에 의해 SiO<sub>2</sub>를 증착 하였으며 증착조건은 기저층 제작과 동일하고 증착시간만 달리하였다. 그리하여 그림 5와 같은 구조의 광도파로를 제작하였다. V-groove에 광섬유를 삽입하여 광섬유의 코어가 도파로의 도파층과 정확하게 정렬되도록 하여 효율이 높은 결합을 시도하였다.

### 3. 제작된 WDM과 광섬유 접속

#### 3.1 광섬유를 지지하기 위한 V-groove 제작

제작된 WDM을 광신호가 전송되는 광섬유에 적용하기 위해서는 광섬유와 접속될 수 있어야 한다. 일반적으로 도파로 소자와 광섬유 소자간 접속이 용이하도록 광섬유 지지용 V-groove를 제작하여 사용하고 있다. V-groove 제작법으로는 유리나 금속을 연삭하는 방법, 세라믹틀로 소결하는 방법<sup>[13]</sup> 등이 있으며 본 연구에서는 Si 단결정의 비등방성 식각법을 이용하였다. Si 기판에 SiO<sub>2</sub>를 증착한 후 V-groove의 감광제 패턴을 제작하고 난 후 SiO<sub>2</sub>를 BOE(NH<sub>4</sub>F:HF:중류수=55:20:140)로 식각하여 SiO<sub>2</sub> mask를 제작한 후 실리콘 비등방성 식각용액(KOH:n-Propanol:중류수=12:10:40)을 이용하여 V-groove를 제작하였다. 식각 용액의 온도를 높일수록 식각속도는 빨라지나 (100)면의 식각상태가 거칠게 나타났으므로 75°C로 일정하게 유지하여 식각 하였을 때 가장 양호한 결과를 얻었다. 식각을 위한 V-groove 폭(D)을 결정하기 위해 식 (2)를 이용하였다.<sup>[14]</sup>

$$D = \frac{2R}{\sin\theta} \left[ 1 + \frac{d \cos\theta}{2R} + \frac{0.5t}{R} \right] \quad (9)$$

여기서 R은 광섬유의 반경, d는 표면에 대한 정규방향에서의 도파로 두께, t는 SiO<sub>2</sub> 두께, θ는 Si의 에칭각도로 그 값은 54.74°이다.

#### 3.2 제작된 WDM과 광섬유간 접속

V-groove에 광섬유를 삽입하여 UV-curing epoxy로 광섬유를 고정한 후, V-groove 위에 장착된 광섬유와 WDM간 접속에도 역시 UV-curing epoxy를 사용하였다. 제작된 WDM과 광섬유와 접속효율을 높이기 위하여 정밀한 이송장치를 사용하여 정열을 하였다. 또한 현미경으로 관찰하면서 He-Ne 레이저 광을 WDM에 입사시켜 WDM 출력단으로부터 광을 측정하면서 광이 최대로 커플링되도록 하였다. 최대 광출력상태에서 UV curing epoxy를 사용하여 고정하였다. UV curing epoxy의 curing 조건은 185W의 Hg-lamp(파장 3250 μm)에서 5분이었다. 또한, 광섬유 지지대로 V-groove를 사용하지

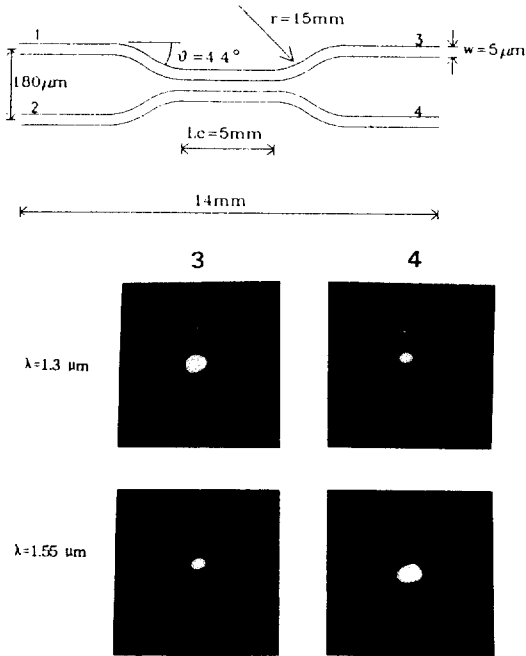


그림 6. 제작된 WDM의 구조 및 도파모드 사진.

않고 광섬유와 도파로간 직접 접속법을 시도하였을 때, 처음에는 결합효율이 좋았으나 curing 시간이 경과됨에 따라 결합손실이 증가되었다. 이는 광섬유의 위치가 변동되어 어긋남 현상이기 때문으로 생각된다.

#### 4. WDM 특성 측정

##### 4.1 도파모드 측정

제작된 WDM의 전체 길이는 14 mm, 곡률반경은 15 mm이며 광섬유와의 연결을 위해 WDM의 출력 분지간 거리는 180  $\mu\text{m}$ 로 하였다. 도파모드 구조를 살펴보기 위하여 End-fire coupling법으로 도파로 끝단에서의 근접영상(near field pattern)을 적외선 비디콘을 사용하여 관찰하였다.

그림 6은 그림 1의 설계변수에 따라 제작된 WDM의 1 분지로 광이 입사되었을 때 각 파장에 대해 3, 4 분지로 도파된 광의 모드분포사진으로, 전체적으로 단일모드 분포를 나타내고 있다. 각 파장에 대해 도파된 모드의 밝기가 분지별로 반전됨을 볼 수 있었으며, 반원형 도파로를 통해 도파된 모드의 형태는 타원형에 가까웠다. 한편 도파로 도파층의 두께가 설계값 보다 얇아지면 광이 도파층에서 guiding이 되지 못하고 덮개층 등으로 분산되어 손실이 커짐을 알 수 있었다. 또한 도파로 도파층의 두께가 3.5  $\mu\text{m}$  이상인 경우나 도파로의 선폭이 8  $\mu\text{m}$

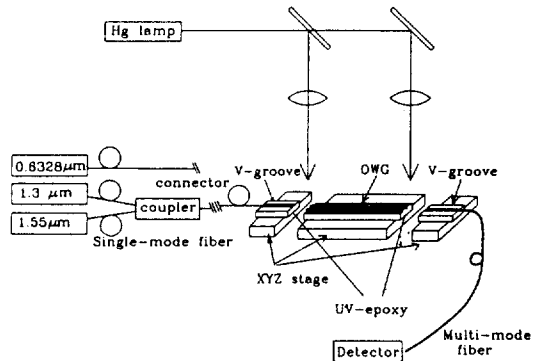


그림 7. WDM성능측정을 위한 장치 개략도.

이상인 경우에는 다중모드분포를 나타내었다.

##### 4.2 WDM의 성능 측정

그림 7은 WDM 성능을 측정하기 위한 장치 개략도이다. 제작된 WDM 양단의 분지와 광섬유가 장착된 V-groove에 연결하고 WDM 입력단에 1.3  $\mu\text{m}$ , 1.55  $\mu\text{m}$ 광의 입사 조건이 1:2가 되는 광커플러를 사용하였다. WDM에 여러 광원을 쉽게 입사할 수 있도록 입력단 광섬유를 광커넥터와 연결하였다. 또한 출력단에서는 도파로를 통과한 광을 전부 수신할 수 있도록 50/125  $\mu\text{m}$ 의 다중모드 광섬유를 사용하였다. 1.3/1.55  $\mu\text{m}$  광원의 손실측정을 안정화시킨 다음, WDM 입사단 분지에 광을 입사시켰다. 출력단 분지별 분할비는 1.3과 1.55  $\mu\text{m}$ 에서 각각 9 dB, 12 dB였다.

### III. 결 론

유한영역에서의 조화함수진개법을 연구하여 도파로를 해석하고, 계산결과를 바탕으로 도파로 결합기 형태의 1.3/1.55  $\mu\text{m}$  WDM의 구조를 설계하였다. 또한 설계된 WDM의 모드필드를 계산하고 이로부터 광섬유와의 모드커플링 효율을 계산하였다.

설계된 1.3/1.55  $\mu\text{m}$  WDM을 제작하기 위하여 저압화학기상증착법에 의한 SiO<sub>2</sub> 기저층과 PSG 도파층을 제작하였다. 또한 laser lithography와 lift-off에 의해 Cr mask pattern을 제작하여 CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> RIE 공정으로 PSG 도파로를 식각하였다. 공정중에 발생한 불순물 제거 및 광산란 손실을 줄이기 위한 열처리공정 후, 저압화학기상증착법에 의한 덮개층 제작 등의 전 공정을 확립하였다.

광섬유를 지지 및 고정하기 위하여 Si 위에 SiO<sub>2</sub>를 증착한 후 Si의 비등방성을 이용한 chemical etching에

의해 V-groove를 만들었으며, 제작된 1.3/1.55  $\mu\text{m}$  WDM을 V-groove 지지된 광섬유와 UV curing epoxy를 사용하여 접속하였다.

제작된 WDM의 1.3  $\mu\text{m}$ , 1.55  $\mu\text{m}$ 에서의 분지별 도파 모드를 관측한 결과 각 파장에 대해 단일모드였으며, 1.3  $\mu\text{m}$ 에서의 분할비는 9 dB, 1.55  $\mu\text{m}$ 에서의 분할비는 12 dB였다. 따라서 광케이블의 시험을 위한 광섬유 접선용 WDM 소자로 활용 가능하며, 특히 다심(수천 개의 광섬유)이 사용되는 가입자 광선로의 경우 제작된 WDM이 소형이고, 광섬유와 직접연결이 가능하므로 광섬유들과 접선장치를 집적화 할 수 있을 것이다. 향후 WDM 효율 향상을 위해 제작된 도파로의 곡률에 따른 곡선 부분에서의 손실 고찰, 뒷개층의 두께 변화에 따른 결합길이 및 손실 고찰, 패턴의 균일화를 위한 공정의 개선 등이 필요함을 알 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] T. L. Koch and U. Koren, "Semiconductor Photonic Integrated Circuits", IEEE J. Quantum Electronics **QE-27**, 641(1991).
- [2] R. C. Alferness, "Optical Guided-Wave Devices", Science **234**, 25(1986).
- [3] Richard A. Soref, Joseph P. Lorenzo, "Silicon Guided-Wave Optics", Solid State Tech. **31**, 95 (1988); Fred S. Hickernell, "Optical Waveguides on Silicon", Solid State Tech. **31**, 83(1988).
- [4] Bruce L. Booth, "Low Loss Channel Waveguides in Polymers", J. Lightwave Tech. **7**, 1445(1989).
- [5] Masao Kawachi, "Silica Waveguides on Silicon and their Application to Integrated-optic Components", Optical and Quantum Electronics **22**, 391 (1990).
- [6] C. H. Henry, G. E. Blonder and R. F. Kazarinov, "Glass Waveguides on Silicon for Hybrid Optical Packaging", IEEE J. Lightwave Tech. **7**, 1530 (1989).
- [7] S. Valette, S. Renard, H. Denis, J. P. Jadot, A. Fournier, P. Philippe, P. Gidon, A. M. Grouillet, and E. Desgranges, "Si-based Integrated Optics Technologies", Solid State Techn. **32**, 69(1989).
- [8] R. V. Ramaswamy and R. Srivastava, "Ion-Exchanged Glass Waveguides: A Review", J. Lightwave Tech. **6**, 984(1988).
- [9] R. A. Levy and K. Nassau, "Viscous Behavior of Phosphosilicate and Borophosphosilicate Glasses in VLSI Processing", Solid State Tech. **29**, 123(1986).
- [10] 김진승, 이형종, 임기전, 정창섭, 정환재, "유한영역에서의 조화함수 전개법을 이용한 반달꼴 단면 이산화규소 광도파로의 모드 분석", 한국광학회지 **4**, 90(1993).
- [11] H. J. Lee, C. H. Henry, J. K. Orlowsky, R. F. Kazarinov, and T. Y. Kometani, Appl. Opt. **27**, 4104 (1988).
- [12] C. H. Henry and B. H. Verbeek, IEEE J. Lightwave Tech. **LT-7**, 308 (1989).
- [13] 이종덕, '실리콘 집적회로 공정기술', 343(1990).
- [14] D. B. Lee, Appl. phys. **40**, 4569(1969).

## Design and Fabrication of the 1.3/1.55 $\mu\text{m}$ WDM Coupler with the PSG Waveguide Films

Young Yun Chun

*Electronics and Telecommunications Research Institute, Taejon 305-350, Korea*

Han Su Kim, Yong Tai Lee and Hyung Jong Lee

*Department of Physics, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea*

(Received: December 21, 1994)

We designed the 1.3/1.55  $\mu\text{m}$  WDM directional coupler and its coupling length was calculated with the variation of the two waveguide's core separation and other variables by the Fourier transformed scalar wave equation. We deposited the PSG films for optical waveguide by low pressure chemical vapor deposition and fabricated the WDM coupler using the laser lithography and  $\text{CF}_4/\text{O}_2$  reactive ion etching process. A V-groove which was made to support and fix the optical fiber is fabricated on Si substrate by chemical etching. The WDM coupler and the V-groove are connected using UV curing epoxy. We found that propagation mode of each port of WDM coupler is single mode and maximum extinction ratio between two out ports is 6 dB for 1.3  $\mu\text{m}$ , and 12 dB for 1.55  $\mu\text{m}$ .