

論文2001-38SD-6-5

광 송수신기 연결을 위한 유리집적광학 평면 광 회로 제작

(Fabrication of Planar Lightwave Circuits for Optical Transceiver Connection using Glass Integrated Optics)

姜東星*, 田金洙*, 金熙周*, 潘在景*,

(Dong-Sung Kang, Keum-Soo Jeon, Hee-Ju Kim, and Jae-Kyung Pan)

요약

본 논문에서는 유리집적광학을 이용하여 채널 도파로, Y-분리기, CWDM 등의 개별소자와 이들을 하나의 유리기판위에 평면형으로 집적하여 제작함으로써 1.31/1.55 μm CWDM(Coarse Wavelength Division Multiplexing) 및 1.55 μm 대역 DWDM (Dense WDM) 수동 광 망에 적용할 수 있도록 하였다. CWDM에 적용한 결과, 1.55 μm 파장에서는 30dB, 1.31 μm 파장에서는 15dB 이상의 교차 비를 얻을 수 있었다.

Abstract

In accordance with the PON(passive optical network) could be setup, effective connections with light sources, optical detectors, and optical fibers are the best sensitive points to represent the efficiency of network. Therefore, in this paper we designed and fabricated optical transceiver connection chip that was consisted of channel waveguide, Y-branch, and CWDM on the 2" BK7 glass substrate. This chip can be used for 1.31/1.55 μm CWDM network and 1.55 μm region dense WDM network.

I. 서론

최근, 파장 분할 다중화 방식을 이용한 완전 수동 이중 스타 망이 많이 연구되어지면서 평면 광 회로(planar lightwave circuit: PLC) 기술을 이용한 광 송수신기가 많이 발표되어지고 있다. 더욱이, 1.3 μm 파장을 음성 및 데이터 전송을 위해 사용하고 1.55 μm 를 CATV등의 영상신호를 위해 파장 다중화 기술을 보이고 있다. 발표된 논문에서 Omori 등은 유리에 다층박막을 입히고 이를 광 파장 필터로 사용하는 1.3/1.55 μm 양방향 광 송수신기 모듈을 선보였으며^[1,2], Ebbinghaus 등은 InP 기판위에 WDM 결합기, 광원, 검출기를 집적

하여 구성한 타입을 발표하였다^[3]. 또한, Mach-Zehnder 간섭계를 이용한 모듈과 실리콘 기판위에 CWDM과 Y-분리기를 형성하고 광원과 검출기를 집적한 형태의 모듈을 선보인바 있다^[4,5]. 본 논문에서는 점차 확산되어 가는 광통신 망에서 반드시 필요한 광 송수신기 모듈을 효율적으로 연결하기 위한 연결용 칩을 유리집적광학을 이용해 제작하고자 한다. 또한, 앞서 언급한 여러 원형과 유사하게 광원과 검출기를 연결하여 모듈로 형성할 수 있는 가능성을 제시하고자 한다.

유리집적광학을 이용하여 구성된 광 송수신기 연결용 칩은 채널 도파로, Y-분리기, 두 개의 CWDM으로 구성되며 양방향 음성 및 고속데이터 전송을 위한 1.31 μm 파장과 하향의 단방향 전송을 위한 영상신호용 1.55 μm 파장의 동작특성에 기초하여 설계되었다^[6~8]. 본 칩의 장점으로서는 ADM(add-drop multiplexing) 기능을 가지고 있어서 기존에는 광섬유로 제작된 개별적인 소자들을 연결하여 사용했지만 하나의 칩으로 구성되어

* 正會員, 全北大學校 電子情報工學部

(Division of Electronics & Information Engineering, Chonbuk National Univ.)

接受日字:2000年8月11日, 수정완료일:2001年4月23日

커넥터에 의한 연결손실을 줄일 수 있었으며 광섬유와 결합할 때 진행되는 도파 모드의 크기와 유효 굴절률이 광섬유와 거의 일치하여 구조적인 단순함을 추구할 수 있었다.

유리기판을 이용하는 것은 근본적으로 광섬유와 굴절율이 유사하여 굴절률 차이에 의한 반사손실을 줄일 수 있으며, 기판의 가격이 저렴하고 도파로를 형성할 때 Ag⁺-Na⁺의 이온교환을 이용함으로써 한 단계의 과정으로 광소자 제작을 할 수 있어서 제작과정이 다른 재료와 비교할 때 매우 간단하여 시설 경제적인 장점을 갖는다. 가장 높이 평가되는 장점은 편광에 무관한 소자를 제작할 수 있다는 점이다. 이는 유리의 굴절율이 중앙 대칭형으로 이온교환 시에 형성되는 도파로에 의해서도 낮은 정도의 복굴절 특성을 갖게 되어 편광에 따른 변화를 무시할 수 있는 정도이기 때문이다^[9].

본 논문에서 제작된 광 송수신기 연결용 칩은 장래의 완전한 광통신 망에서 반드시 필요한 소자이며 기존의 사용중인 동축케이블 망과는 광/전 변환기를 통해 용이하게 연결할 수 있어 점차 변화하여 가는 전송망 환경에 유동적으로 대처해 나갈 수 있는 장점이 있다^[10-14].

II. 모델링

본 논문에서 제작된 연결용 칩의 필요성은 그림 1과 같은 구조의 링 망에서 가장 부각된다^[6]. 중앙 노드를

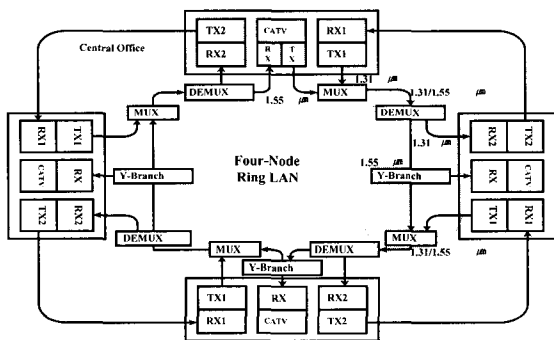


그림 1. CATV 전송을 위한 양방향 4노드 광 링 망 구성도 1.31 μ m: 상·하향 음성 및 고속데이터 전송 1.55 μ m: 하향 영상데이터 전송

Fig. 1. The set up of bidirectional four node optical ring-network for CATV transmission 1.31 μ m: Upward/downward voice or data signal transmission 1.55 μ m: Downward image signal transmission.

포함하여 4개의 노드를 가정하면 각 노드에서 필요한 광소자는 그림에서 점선으로 표시한 부분과 같이 다중화기 및 역다중화기, Y-분리기 등이며 일반적으로 광섬유를 이용하여 제작된 소자를 사용하고 있다. 따라서 이와 같은 기능을 수행할 수 있는 연결용 칩을 유리집적광학을 이용하여 제작하고자 한다.

연결용 칩에서 가장 중요한 기능을 수행하는 것은 역다중화기이다. 따라서 역다중화기의 구체적인 모델링 결과를 살펴본 후에 전체적인 칩의 모델링 과정을 소개하였다.

A. 역다중화기

그림 2와 같은 구조로 구성된 이 소자는 두 개의 파장을 분리하거나 합하는 기능을 가지고 있으며 두 개의 동일한 채널 도파로로 구성되고, 광 결합 길이 이후에는 0.286°의 각을 가지고 점차 분리해 나간다. 역다중화기의 가장 중요한 특성인 광 결합 비는 이격 거리 S와 파장에 따라 광 파워가 완전히 전달되는 $l_{1.31, 1.55}$, 그리고 모드의 모양을 결정짓는 소멸계수에 의한 모드의 침투도에 의하여 결정된다. 특히, $l_{1.31, 1.55}$ 는 파장에 대해 기본 모드와 1차 모드의 전파상수의 차를 이용하여 식 (1)과 같이 구할 수 있다. 여기에서 ①번 출력 단이란 1.55 μ m 파장의 출력 단을 의미하고, ②번 출력 단은 1.31 μ m 파장의 출력 단을 의미한다. 따라서 수식적인 고려를 한 후, 더 정확한 수치를 얻기 위해 FD-BPM을 이용한 모델링 과정을 거쳤다.

$$l_{1.31, 1.55} = \frac{\pi}{\Delta\beta} = \frac{\pi}{\beta_{fm} - \beta_{1st}} \quad (1)$$

모델링에 사용한 도파로의 굴절률 분포는 유리기판에 이온교환법을 적용해 형성되는 변화로 폭 방향으로는 Gaussian 분포를 하고 깊이 방향으로는 Error 함수적인 분포를 하는 식 (2)를 이용하였다^[15].

$$N(x, y; \lambda) = n_s(\lambda) + \Delta n(\lambda) \operatorname{erfc}(x/d) \left[\exp\left(-\frac{(y-W_M)^2}{W_i^2}\right) \cdot U(y-W_M) + \exp\left(-\frac{(y+W_M)^2}{W_i^2}\right) \cdot U(-y-W_M) + U(y+W_M) - U(y-W_M) \right] \quad (2)$$

$$\text{for } x \geq 0, W_M \geq 0, U(y-W_M) = \begin{cases} 0, & y < W_M \\ 1, & y \geq W_M \end{cases}$$

여기에서 x=0는 광 도파로의 표면을 의미하며, λ 는

자유공간 상태에서의 파장을, $n_s(\lambda)$ 는 파장에 따른 기판의 굴절율을, $\Delta n(\lambda)$ 는 파장에 따른 광 도파로의 최대 굴절율 변화를, d 는 확산 도파로의 유효깊이를, W_M 은 마스크의 폭을, 그리고 W_i 는 폭방향의 유효확산 반폭을 나타낸다.

그리고 이러한 소자변수들은 본 연구실에서 채널 도파로를 이용해서 확립한 단일모드 조건으로 $n_s(1.55\mu m)=1.5032$, $W_M=3.5\mu m$, $W_i=((W_M-3)/7+2.5)W_M/2$, $\Delta n(1.55\mu m)=0.0116$ 등을 이용하였으며, 이 변수들을 적용한 CWDM 부분만의 굴절율의 분포는 그림 3과 같다.

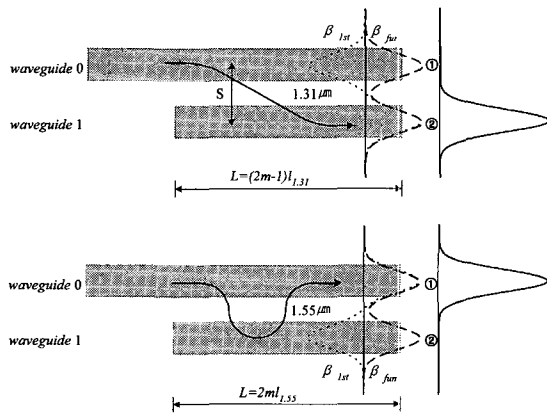


그림 2. CWDM의 1.31/1.55 μm 파장 분리
Fig. 2. 1.31/1.55 μm wavelength separation of CWDM.

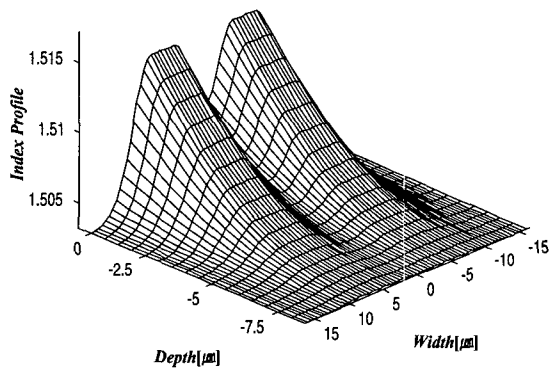


그림 3. 이온교환에 의해 형성되는 CWDM 일부분의 굴절율 분포 폭 방향: 가우시안 분포 깊이 방향: 에러함수 분포
Fig. 3. The index profile of CWDM after the ion-exchange width direction: Gaussian functional distribution depth direction: Error functional distribution.

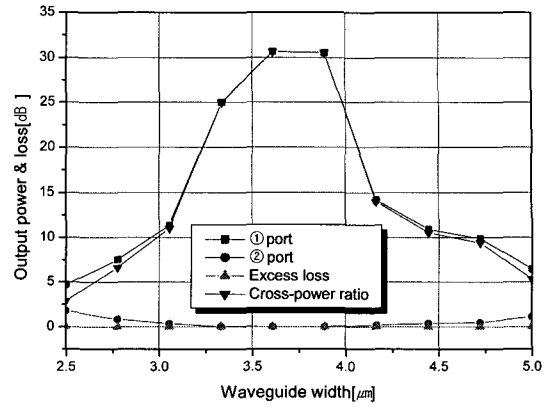


그림 4. 도파로 폭에 따른 CWDM의 출력 파워, 손실 및 교차 비
Fig. 4. Output power, excess loss and cross-power ratio of CWDM depends on waveguide width.

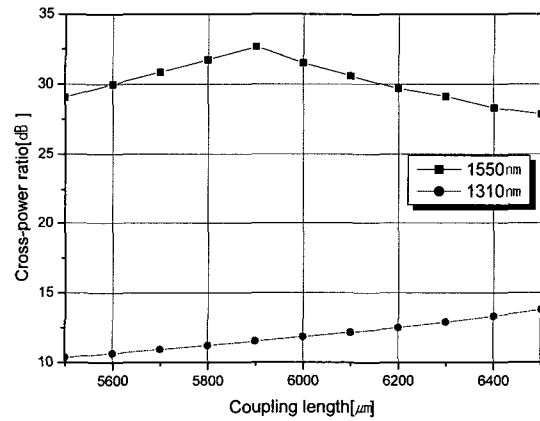


그림 5. 결합 길이에 따른 CWDM의 교차 비
Fig. 5. Cross-power ratio of CWDM depends on coupling length.

그림 4는 이러한 변수들을 이용하여 CWDM을 모델링 한 결과이다. 여기에서 excess loss ($Le = -10\log((P_1+P_2)/P_{in})$)와 1.55 μm 파장에 대한 교차 비 (cross-power ratio = $-10\log(P_1/P_2)$)를 구하였다. 또한 1.55 μm 파장을 기준으로 모델링 하였으며 손실은 거의 없고 교차 비는 28dB를 얻었다. 또한 두 도파로 사이의 중심간 간격 S는 결합 길이를 고려하여 9 μm 로 고정하고 그림 5와 같이 두 파장을 완전히 분리할 수 있는 길이 L은 6000 μm 로 설정하였다. 이는 1.55 μm 만을 고려하면 5900 μm 가 가장 큰 교차 비 32.5dB를 가지나 1.31 μm 파장의 교차 비도 고려하여 길이를 결정하였다. 이

와 같이 했을 경우, 평면 광 회로의 앞부분에 해당하는 역다중화기의 파장에 따른 특성은 그림 6과 같다. 1.32 μm 파장에서 최대 22dB의 교차 비를 가지며 1.56 μm 에서 최대 18dB의 교차 비를 가짐을 알 수 있었다. 제작된 소자의 출력 모드 측정은 그림 7과 같은 측정시스템을 이용하였다. 그림 8은 제작된 역다중화기의 출력 모드를 보였다.

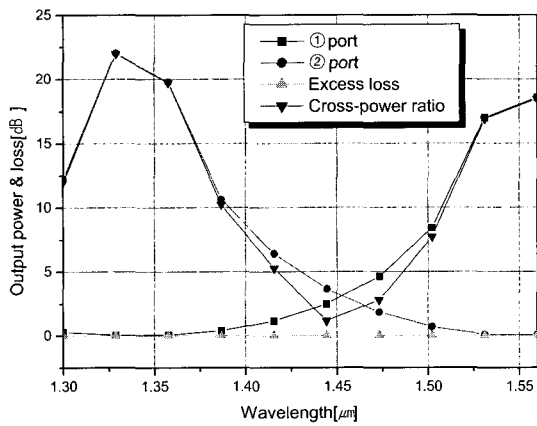


그림 6. 파장에 따른 CWDM의 출력 파워, 손실 및 교차 비

Fig. 6. Output power, excess loss and cross-power ratio of CWDM depends on wavelength.

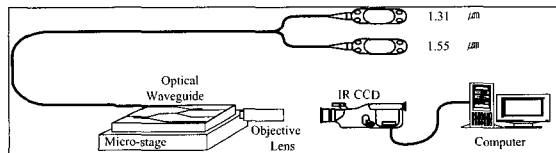


그림 7. 광소자 테스트 과정
Fig. 7. Test of optical device.

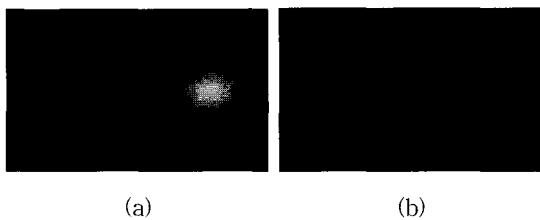


그림 8. CWDM의 광 출력 모드
Fig. 8. Optical output mode of CWDM
(a) $W_M=3.5\mu\text{m}$, $S=9\mu\text{m}$, $\lambda=1.31\mu\text{m}$
(b) $W_M=3.5\mu\text{m}$, $S=9\mu\text{m}$, $\lambda=1.55\mu\text{m}$

B. Y-분리기

역다중화기 이후에 1.55 μm 파장의 광을 본 node와 다

음 node로 나누기 위해 Y-분리기를 사용하였다. 이 때 분리 각은 0.286° 로 하여 손실을 줄였으며 한 노드만을 고려하여 3dB 대칭형으로 제작하였다. 이 때 두 도파로의 폭은 3.5 μm 이었으며 만일, 한 쪽 도파로의 폭을 변화시키면 그림 9와 같은 출력 비를 가진 Y-분리기를 형성할 수 있다. 이는 node 수가 증가할 때 적절한 광 파워 비를 적용하기 위해 한 쪽 도파로의 폭을 변화하여 얻을 수 있음을 의미한다. 그림 10(a)는 동일하게 3.5 μm 폭으로 이루어진 5:5 출력 모드(3dB)를 그림 10(b)는 3.5:3.2 μm 폭으로 이루어진 6:4 비율의 출력 모드를 나타낸다.

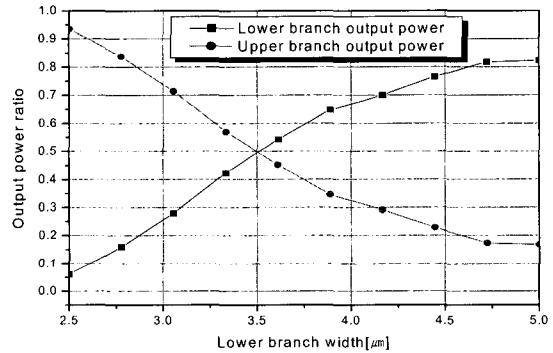
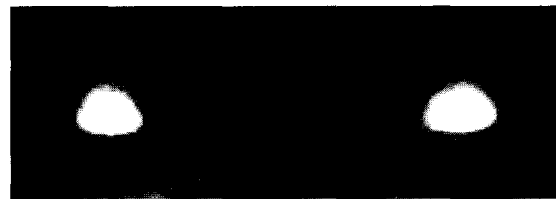
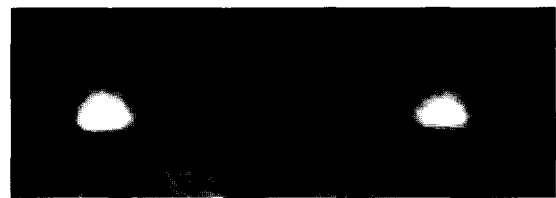


그림 9. 한 쪽 도파로 폭에 따른 Y-분리기의 광 출력 파워비

Fig. 9. Optical output power ratio depends on lower branch width of Y-branch.



(a)



(b)

그림 10. Y-분리기의 광 출력 모드

Fig. 10. Optical output mode of Y-branch.

- (a) 3.5 : 3.5 μm (output power ratio 5 : 5)
- (b) 3.5 : 3.2 μm (output power ratio 6 : 4)

C. 평면형 광 송수신기 연결용 칩

연결용 칩의 전체적인 기능은 그림 11과 같다. 먼저, 두 파장 역다중화기에서 다중화된 입력 파장 1.31/1.55 μm 를 역다중화 한다. 역다중화기를 거친 후 1.31 μm 신호는 ③번 출력 단으로 출력되며 1.55 μm 신호는 3dB 분리 비를 가진 Y-분리기를 거쳐 50%는 ②번 출력 단으로 출력되고 나머지 50%는 링 망에서 ①번 출력단을 통해 다음 단으로 전송된다. 본 논문에서는 한 단만을 고려하여 3dB 분리 비를 사용하였지만 실제적으로는 링의 노드를 고려한 분리 비를 적용하여야 한다. 이 때 본 노드에서 중앙 노드에 요구사항이 있을 때는 1.31 μm 상향신호를 이용하여 전송하게 되며 링을 통해 전송하기 위해서는 50%의 1.55 μm 신호와 다시 다중화되어 ①번 출력 단을 통해 다음 단으로 전송된다.

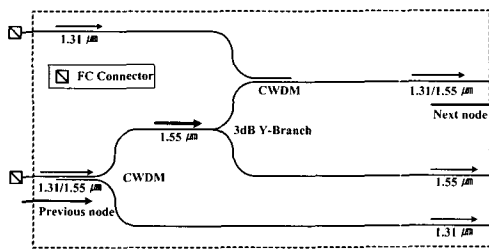


그림 11. 유리집적광학으로 제작된 평면형 광 송수신기 연결용 칩
 Fig. 11. The planar optical transceiver connection chip made using glass integrated optics.

전체적인 칩의 파장 특성에 대해 모델링한 결과를 그림 12에 보였다. 모델링 결과 손실은 1.31/1.55 μm 파장에 대해 비슷하게 0.09dB 정도의 손실을 갖는 것으로 평가된다. ①번 출력 단의 손실이 다소 큰 이유는 뒷부분에서 CWDM을 형성하기 때문에 유효 굴절율이 변화하므로 약간의 손실이 증가하기 때문이다.

그림 13은 1.55 μm 대역에 대한 연결용 칩의 특성을 나타내었다. 칩을 구성하는 CWDM은 근본적으로 파장 간격이 큰 두 파장을 기준으로 하였기 때문에 1.55 μm 대역을 중심으로 14nm 이상에서 22dB 이상의 교차 비를 얻을 수 있어서 별다른 변형 없이 사용될 수 있을 것으로 평가된다. 물론 연결 칩 앞에서 AWG(arrayed waveguide grating)와 같은 DWDM 소자가 필요하다^[7]. 전체적으로 평면형 광 송수신기 연결용 칩은 1.55 μm 에서 37dB 정도의 교차 비와 1.31 μm 에서 15dB 이상의 교차 비를 예측할 수 있었다.

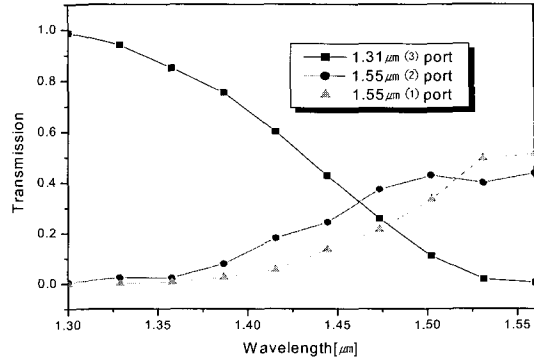


그림 12. 파장에 따른 광 송수신기 연결용 칩의 전송 특성
 Fig. 12. The characteristic of optical transceiver connection chip with wavelength.

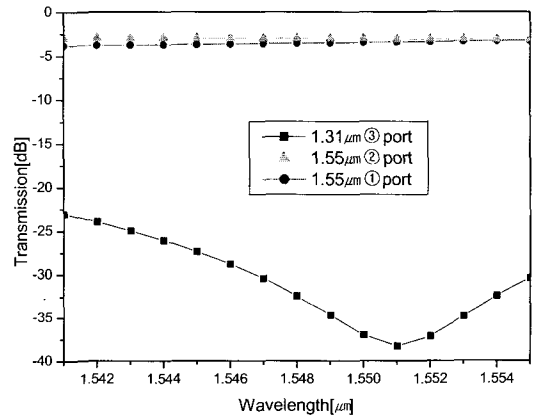


그림 13. DWDM 적용을 위한 1.55 μm 대역에서의 파장 특성
 Fig. 13. Wavelength characteristics depends on 1.55 μm region for DWDM application.

III. 제작 및 특성 평가

모델링한 결과를 바탕으로 2" BK7 유리기판에 $\text{Ag}^+ - \text{Na}^+$ 이온교환을 이용하여 광 송수신기 연결용 칩을 그림 14와 같은 순서로 제작하였다. 먼저, 이온교환에 쓰였던 염은 $\text{AgNO}_3[0.001\text{MF}] : \text{KNO}_3[0.33\text{MF}] : \text{NaNO}_3[0.67\text{MF}]$ 비율로 혼합하여 사용하였으며 이는 굴절율의 조절이 용이하고 시간을 늘림으로써 열처리의 효과를 동시에 얻을 수 있었기 때문이었다. CASIX에서 구입한 BK7의 굴절율은 1.55 μm 파장에서 1.5032이며 이온교환에 의한 최대 굴절율의 변화량은 0.0116으로 평판형 도파로의 결과로부터 IWKB 법을 이용해 유도하였다. 이 때 이온교환 온도는 350 $^{\circ}\text{C}$ 에서 12시간

동안 실시하였다. 염을 녹이는 동안 생기는 금속화된 이온들은 최대한 적게 하여야 하며 본 실험에서는 여러 차례 염을 녹이고 굳히는 방법을 사용하였다. 마지막으로 이온교환을 통해 제작된 샘플을 단면절개와 1200번, 2000번 사포를 이용한 2단계 연마과정을 거쳐 도파 특성을 단면 결합을 이용해 조사하였다. 입력은 1×3 광섬유 결합기를 통해 입사시켰으며 $1.31\mu\text{m}$ 와 $1.55\mu\text{m}$

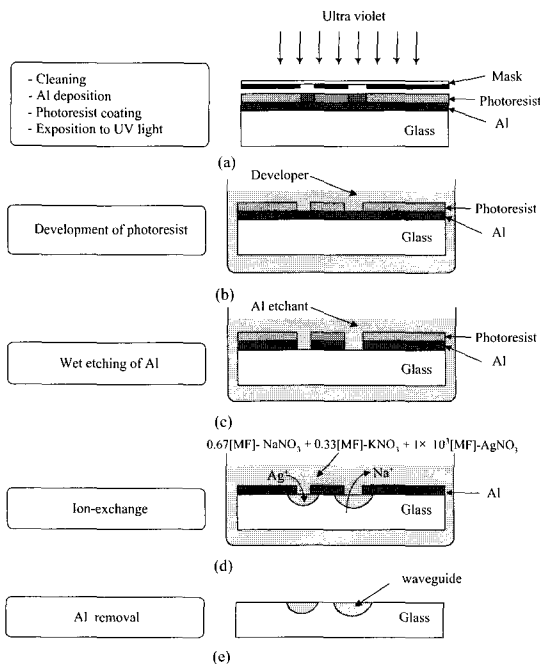


그림 14. 광 송수신기 연결용 칩 제작 과정
Fig. 14. Fabrication of optical transceiver connection chip.

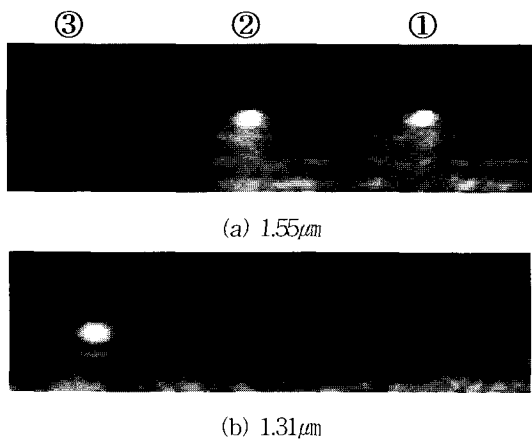


그림 15. 광 송수신기 연결용 칩의 출력 결과
Fig. 15. Outputs of optical transceiver connection chip (a) $1.55\mu\text{m}$ (b) $1.31\mu\text{m}$

μm 파장에 대한 결과를 그림 15와 같이 얻을 수 있었다. $1.55\mu\text{m}$ 에 대해서는 ③번 출력 단으로 출력되는 광 파워가 거의 없는 것으로 보이며 계산 결과 약 30dB 정도로 모델링과는 5dB 정도의 오차를 보였다. ①, ②번 출력 단의 광 파워 비는 모델링에서와 같이 약간의 차이가 있는 것으로 보인다. 즉, ①번 출력 단의 광 파워가 ②번 출력 단보다 약간 적다. 또한 $1.31\mu\text{m}$ 파장에서는 $1.55\mu\text{m}$ 파장만을 출력하는 ①, ②번 출력 단으로 $1.31\mu\text{m}$ 의 광 파워가 출력되는 결과를 볼 수 있다. 약 15dB 정도의 교차 비를 갖는다.

IV. 결론

제작한 광 송수신기 연결용 칩은 유리집적광학을 이용한 채널 도파로, Y-분리기, CWDM 등의 개별소자에 대한 각각의 모델링과 제작을 기초로 하여 도파로의 폭은 단일 모드를 기준으로 $3.5\mu\text{m}$ 로 하였으며, 곡선 도파로의 각은 0.286° 로 설정하여 2" BK7 유리기판에 길이 30mm로 모델링 한 후 이온교환을 통해 평면형으로 제작하여 특성을 파악하였다.

연결용 칩을 구성하는 개별소자의 경우, 역다중화기는 모델링 결과 $1.32\mu\text{m}$ 파장에서 최대 22dB의 교차 비를 가지며 $1.56\mu\text{m}$ 에서 최대 18dB의 교차 비를 가짐을 알 수 있었고, 측정 결과 $1.31/1.55\mu\text{m}$ 파장의 역다중화에서 18dB 이상의 교차 비를 얻었다. Y-분리기는 두 개의 도파로가 동일하게 $3.5\mu\text{m}$ 폭으로 이루어진 5:5 출력 모드(3dB)와 $3.5:3.2\mu\text{m}$ 폭으로 이루어진 6:4 비율의 출력 모드를 나타내었으며 광 송수신기 연결용 칩은 한 노드만을 고려하여 3dB 분리를 적용하였다. 결과적으로, 이들 개별소자를 모두 집적한 평면형 광 송수신기 연결용 칩은 $1.55\mu\text{m}$ 파장에서 30dB, $1.31\mu\text{m}$ 에서는 15dB 정도의 교차 비를 얻을 수 있었다.

참고 문헌

[1] Y. Omori, T. Kunikane, T. Yamane, S. Sawae, H. Furukawa, and T. Hashi, "Optical devices technologies for access networks," in *Proc. 6th Int. Workshop Opt. Access Networks*, pp. S3.5-1~S3.5-8, 1994.
[2] A. Müller, J. Hehmann, A. Rogner, J. Göllert,

- and J. Mohr, "Hybrid optical transceiver module with a micro optical LIGA-bench," in *Proc. 21th ECOC'95*, paper Tu.P2.3, pp. 465~468, 1995.
- [3] G. Ebbinghaus, "Multistage epitaxy for photonic integration," in *Proc. 7th Int. Conf. Indium Phosphide Related Mat. (IPRM'95)*, paper WA2-1, pp. 1~4, 1995.
- [4] H. Terui, T. Kominato, K. Yoshino, F. Ichikawa, S. Hata, S. Sekine, M. Kobayashi, J. Yoshida, and K. Okada, "Optical module with a silica-based planar lightwave circuit for fiber-optic subscriber system," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 4, pp. 660~662, 1992.
- [5] Y. Yamada, S. Suzuki, K. Moriwaki, Y. Hibino, Y. Tohmori, Y. Akatu, Y. Nakasuga, T. Hashimoto, H. Terui, M. Yanagisawa, Y. Inoue, Y. Akahori, and R. Nagase, "A hybrid integrated optical WDM transmitter/receiver module for optical subscriber utilizing a planar lightwave circuit platform," in *Proc. OFC'95*, pp. PD12-2~PD12-5, 1995.
- [6] Yung-Kuang Chen, Chia-Hsiung Chang and Chien-Chung Lee, "Simultaneous Transmission of 1.55 μ m CATV Video Signal and 1.3 μ m Data Signal Over a Multimode-Fiber Local Area Network," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 10, pp. 1790~1792, 1998.
- [7] Bianca Buchold, Christoph Glingener, Dirk Culemann and Edgar Voges, "Polarization Insensitive Ion-Exchanged Arrayed Waveguide Grating Multiplexers in Glass," *Fiber and Integrated Optics*, vol. 17, pp. 279~298, 1998.
- [8] Gordon C. Wilson, Thomas H. Wood, J. Anthony Stiles, Robert D. Feldman, Jean Marc P. Delavaux, Thomas H. Daugherty and Peter D. Magill, "FiberVista: An FTTH or FTTC System Delivering Broadband Data and CATV Services," *Bell Labs Technic. Journal*, Jan.-Mar., pp. 300~322, 1999.
- [9] Gabriella Motta, Guido Perrone and Ivo Montrosset, "Accurate Modeling of Y-Junctions and Couplers Made by Ion Exchange Techniques," *Proc. SPIE*, vol. 3620, pp. 240~249, 1999.
- [10] Yoshiki Kuhara, Yasushi Fujimura, Hiromi Nakanishi, Yasuhiro Iguchi, Hitoshi Terauchi, Naoyuki Yamabayashi, Yoichi Ishiguro, and Hiroo Kanamori, "Optical WDM Transceiver Module Using Wavelength-Selective Coupler and WDM-PD for Optical Access Networks," *J. Lightwave Technol.*, vol. 15, no. 4, pp. 704~710, 1997.
- [11] Gohji Nakagawa, Tsuyoshi Yamamoto, Seimi Sasaki, Masaaki Norimatsu, Naoki Yamamoto, Taizo Nosaka, Koji Terada, Kazuhiro Tanaka, Kazunori Miura, and Mitsuhiro Yano, "High Power and High Sensitivity Planar Lightwave Circuit Module Incorporating a Novel Passive Alignment Method," *J. Lightwave Technol.*, vol. 16, no. 1, pp. 66~73, 1998.
- [12] Kuniharu Kato and Yasuyuki Inoue, "Recent progress on PLC hybrid integration," *Proc. SPIE*, vol. 3631, pp. 28~37, 1999.
- [13] Gohji Nakagawa, Tsuyoshi Yamamoto, Koji Terada, Kohei Shibata, and Terukazu Naruse, "Hybrid Integration of Optical Components on Planar Lightwave Circuit (PLC) for 1.3/1.55 μ m WDM Compact Optical Transceiver for ATM-PON Systems," *Proc. IEEE*, pp. 63~64, 1999.
- [14] Mehdi Asghari and Emma J.C. Dawnay, "ASOCTM-A Manufacturing Integrated Optics Technology," *Proc. SPIE*, vol. 3620, pp. 252~263, 1999.
- [15] Hsing Chien Cheng and Ramu V. Ramaswamy, "Symmetrical Directional Coupler as a Wavelength Multiplexer-Demultiplexer: Theory and Experiment," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 27, no. 3, pp. 567~574, 1991.

 저 자 소 개

姜 東 星(正會員)

1968년 9월 26일생, 1993년 2월 전북대학교 전기공학과 학사. 1995년 2월 동대학원 전기공학과 석사. 1999년 8월 동대학원 전기공학과 박사과정 수료, 현재 (주)젠포토닉스 주임연구원. 주관심 분야는 광통신용 폴리머 광집적소자 설계 및 제작, 유리집적광학, 광도파로 해석 등임

田 金 洙(正會員)

1972년 7월 16일생. 1995년 2월 전북대학교 전기공학과 학사. 1997년 2월 동대학원 전기공학과 석사. 현재 동대학원 전기공학과 박사과정. 주관심분야는 광통신용 광집적소자 설계 및 제작, 광도파로 해석, 광전송시스템, 광/무선 통신시스템 등임

金 熙 周(正會員)

1971년 1월 23일생. 1993년 2월 전북대학교 전기공학과 학사. 1995년 2월 동대학원 전기공학과 석사. 현재 동대학원 전기공학과 박사과정. 주관심분야는 광통신용 광집적소자 설계 및 제작, 광전송시스템, 광/무선 통신시스템 등임

潘 在 景(正會員)

1956년 2월 19일생. 1980년 2월 연세대학교 전자공학과(공학사). 1982년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1987년 8월 동대학원 전자공학과(공학박사). 1987년 5월-현재 전북대학교 전자정보공학부 교수, 전북대학교 전기전자회로합성연구소 연구원, 전북대학교 정보통신연구소 연구원. 1991년 1월-1992년 1월 미국 Ohio 주립대 전기공학과 객원연구원. 주관심 분야는 광통신용 소자, 집적광학소자, 광/무선 통신시스템 등임