

論文2001-38SD-8-5

Ag⁺-Na⁺ 이온교환법으로 제작된 1×N MMI 광파워 분리기의 특성

(Characteristics of 1×N MMI Optical Power Splitters Fabricated by Ag⁺-Na⁺ Ion-exchange)

田金洙*, 張明灝*, 姜東星*, 金熙周*, 潘在景*

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

요 약

본 논문에서는 다중모드 간섭이론(MMI : multimode interference)을 Ag⁺-Na⁺ 이온교환 방식에 적용하여 BK7 유리에 1×2, 1×4, 1×8 MMI 광파워 분리기를 설계 제작하였다. 소자를 제작하기 전에 채널형 도파로의 굴절률 분포와 MMI 광파워 분리기의 다중모드 영역의 폭과 다중모드 영역의 길이를 결정하였다. 다중모드 영역의 길이는 1×2 MMI : 887 μ m, 1×4 MMI : 1666 μ m, 1×8 MMI : 1834 μ m이고, 다중모드 영역의 폭은 1×2 MMI : 40 μ m, 1×4 MMI : 80 μ m, 1×8 MMI : 120 μ m 였다. 제작된 소자들은 1.50~1.58 μ m 파장 범위 내에서 1×2 MMI의 경우 1.4dB, 1×4 MMI의 경우 1.7dB, 1×8 MMI의 경우 약 2dB의 광파워 불균형비를, 그리고 손실은 1×2 MMI의 경우 0.96[dB], 1×4 MMI의 경우 2.29[dB], 1×8 MMI의 경우 1.67[dB]였다.

Abstract

The 1×2, 1×4 and 1×8 multimode interference(MMI) optical power splitters are fabricated by using Ag⁺-Na⁺ ion exchange on BK7 glass. Before fabricating the MMI optical power splitters, we find the refractive index of the channel waveguide and calculate the multimode section length and width. The multimode section lengths and widths are 887 μ m, 1666 μ m and 1834 μ m and 40 μ m, 80 μ m and 120 μ m for 1×2, 1×4 and 1×8 MMI optical power splitters respectively. The measured properties of the fabricated MMI optical power splitters show that the unbalance ratios of the 1×2, 1×4 and 1×8 MMI optical power splitters are 1.4[dB], 1.7[dB] and 2.0[dB] and the excess losses of those are 0.96[dB], 2.26[dB] and 1.67[dB], respectively.

I. 서 론

정보 용량의 다수요 대형화에 따라 파장 다중화 기

* 正會員, 全北大學校 電子情報工學部

(Division of Electronics and Information Engineering,
Chonbuk National University)※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000-1-
30200-007-3)지원으로 수행되었음.

接受日字:2001年2月28日, 수정완료일:2001年7月21日

법을 적용한 전송방식 시스템에서는 광 신호의 다분기는 필수적이며 이에 많은 광 분리소자를 필요로 한다. 수동형 광파워 분리기 소자로는 Y-분리기^[1~3], 방향성 결합기와 MMI(multimode interference)분리기^[4~6] 등이 있다. Y-분리기는 파장에 무관하게 광을 분리시킬 수 있는 장점을 갖는 반면에 분리각이 1° 보다 커지면 손실이 현저하게 커지고 1×N 분리기로 확장 시 Y-분리기를 조합해야 하므로 소자의 길이가 선형적으로 증가하는 단점을 갖는다. MMI 분리기 는 파장에 의존적이기는 하지만 Y-분리기에 비해 소자 크기를 작게 제작할 수 있을 뿐만 아니라 도파로 폭과 길이만을 조절함

으로써 간단하게 $N \times M$ 분리기로 확장이 가능한 장점을 갖는다. 또한 제작 허용오차를 크게 할 수 있어서 제작의 어려움을 줄일 수 있으며 파장 다중화 시스템에 적용하는데 있어서 큰 광대역성을 갖는 장점이 있다^[7-8].

수동소자를 제작하는 재료와 방법에는 여러 가지가 있지만 본 논문에서는 BK7 유리 기판에 Ag^+-Na^+ 의 이온교환을 이용하여 제작하였다. 소자 제작에 사용한 유리 기판의 경우 광섬유와 굴절률이 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 있어 제작과정이 다른 재료와 비교할 때 매우 간단하고 경제적인 장점을 갖는다. 특히 유리의 굴절률이 낮은 복굴절 특성을 갖기 때문에 편광에 무관한 소자를 제작할 수 있는 장점을 갖는다^[9].

우리는 참고문헌^[10]에 BK7 유리에 Ag^+-Na^+ 이온교환을 이용하여 제작한 1×4 MMI 광파워 분리기에 대한 논문을 발표하였다. 이 논문에서는 소자의 이론적 배경과 제작공정을 주로 해서 설명하였으며, 제작된 소자의 도파특성, 손실특성, 광파워 분리비 등의 소자특성에 대한 자세한 분석이 포함되어 있지 않다. 그래서 본 논문에서는 발표된 논문에 보강하여, BK7 유리에 Ag^+-Na^+ 이온교환을 이용하여 제작된 MMI 광파워 분리의 특성평가를 위해 2채널(1×2), 4채널(1×4), 8채널(1×8)의 MMI 광파워 분리를 제작하였다. 소자의 모델링은 FD-BPM(finite difference-beam propagation method)를 이용하였으며, 사용파장에 따른 제작된 소자의 광파워 불균형 비와 출력(손실)특성을 측정하였다. 측정된 소자의 특성 결과값이 모델링값과 오차가 있음을 확인하였으며, 이러한 오차 분석을 위해 3mm, 10mm, 30mm 길이의 채널형 도파로를 제작하여 도파 특성을 측정하였다.

본 논문의 구성은 2장에서는 MMI 광파워 분리기 설계를 위해서 제작 변수에 따른 출력 특성 변화를 모델링 하고 3장에서는 제작과정과 제작된 소자의 특성을 평가한다. 그리고 4장에서 결론을 맺었다.

II. $1 \times N$ MMI 광파워 분리기 모델링

그림 1은 1×4 MMI 광파워 분리기 구조를 나타내고 있으며 그림 1(a)의 입력과 출력단은 단일 모드를 갖는

도파로 구조로 되어있고 그림 1(b)의 중앙 부분은 단일 모드가 다중모드로 변환되어 진행하면서 주기적으로 단일 모드 또는 다중모드의 형태로 입력 필드 모양을 형성한다. 여기에서 W 는 도파로 입력단과 출력단의 폭을, n_c 는 도파로 유효 굴절률을, n_s 는 기판의 굴절률을 그리고 W_M 은 다중모드 도파로의 폭을 L_{MMI} 는 다중모드 도파로의 길이를 나타내며 W_L 은 출력 도파로 사이의 거리이다.

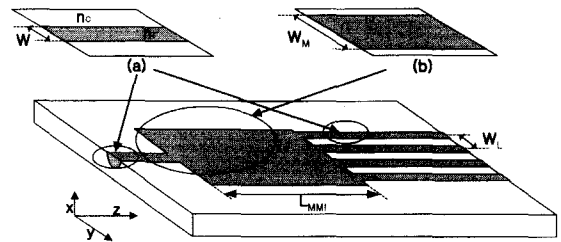


그림 1. MMI 광파워 분리기 구조 (a) 단일모드 영역 (b) 다중모드 영역

Fig. 1. A schematic diagram of MMI optical power splitter. (a) single-mode section of input and output port. (b) multimode section.

그림 1(b)의 다중모드 영역에서는 y 축(도파로 폭)의 크기가 x 축(도파로 깊이) 크기에 비해 훨씬 크기 때문에 모드들이 도파로내의 모든 지점에서 같은 횡축 작용을 한다고 가정하여 도파로 해석 시 평판형 도파로라고 가정하여 2차원을 기준으로 해석할 수 있다. MMI 광파워 분리의 경우 입력 도파로 위치에 따라서 N 개의 출력을 만들기 위한 다중모드 영역의 거리가 크기 차이 난다. 임의의 위치에 입력 단을 둘 경우 N 개의 출력 단을 만들기 위한 다중모드 영역의 거리는 중앙에서 입력할 때의 거리보다 4배정도 소자의 길이가 길어지기 때문에 본 논문에서는 $1 \times N$ 광파워 분리를 제작하기 위해서 입력 도파로가 중앙에 위치한 대칭형의 MMI 형태를 이용하여 소자의 길이를 줄였다. MMI에 대한 자세한 이론은 참고문헌 [6], [7], [8]에 설명되어 있기 때문에 본 논문에서는 생략하였다.

입·출력 도파로의 폭이 일정하고 깊이 방향으로 단일모드만을 여기 시키는 조건일 때 MMI 광파워 분리기 설계시 다중모드 영역의 폭 W_M 과 다중모드 영역의 길이 L_{MMI} 를 제작변수로 고려해야 한다. 그림 1에서 N 개의 출력을 갖는 MMI 광파워 분리의 경우, 다중모드 영역의 폭 W_M 은 출력단 수 N 에 출력 도파로 사이

의 거리 W_L 를 곱한 값 $W_M=N \times W_L$ 으로 표현할 수 있다. 출력단 수 N 은 소자 제작시 미리 정해지므로 다중 모드 영역의 폭 W_M 은 출력 도파로 사이의 거리 W_L 값에 따라 변하게 된다. 본 논문에서는 출력 도파로 사이의 거리 W_L 은 1×2, 1×4 MMI 광파워 분리기에서는 비교적 폭에 따른 L_{MMI} 의 증가와 beat length 손실이 적기 때문에 여유를 두어 20 μ m로 하여 설계하였고 1×8 MMI 광파워 분리기에서는 출력단 수가 많아짐에 따라 W_M 값이 커지기 때문에 L_{MMI} 의 증가에 따른 전파손실과 다중모드 여기에 따른 beat length차에 의한 손실을 줄이기 위해 모드 간섭이 발생하지 않는 거리로 15 μ m로 하였다. 그래서 1×2, 1×4, 1×8 MMI 광파워 분리기기의 다중모드 영역의 폭 W_M 은 각각 40 μ m, 80 μ m, 120 μ m로 정하였다.

출력 단에서 첫 번째 N 개의 이미지가 나타나는 거리 L_{MMI} 는 식(1)을 이용해서 구할 수 있다.^[6]

$$L_{MMI} = \frac{1}{N} \left[\frac{3L_\pi}{4} \right] = \frac{n_r W_e^2}{N\lambda} \quad (1)$$

여기에서 L_π 는 다중모드 영역에서 두 개의 최저 차모드의 beat length의 차로 $L_\pi = \pi/(\beta_0 - \beta_1)$ 이며, W_e 는 첫 번째 모드의 유효 도파로 폭을 나타낸다. 식 (1)에서 다중모드 영역의 길이 L_{MMI} 는 다중모드 영역 폭 W_M 이 증가함에 따라서 증가하는 특성을 가진다. 표 1에 식 (1)을 이용하여 얻어진 1×2, 1×4, 1×8 MMI 광파워 분리기기의 다중모드 영역 길이 L_{MMI} 과 다중모드 영역의 폭 W_M 을 요약하였다. 그리고 입·출력 도파로의 폭은 채널 도파로 제작에서 얻어진 결과를 이용하여 1.55 μ m 파장에서 단일모드만을 여기 하고 접합시 손실을 줄이기 위해서 광섬유 코어 사이즈를 고려하여 6 μ m로 결정하였다.

표 1. 1×N MMI 광파워 분리기기의 다중모드 영역의 폭과 길이

Table 1. MMI widths and lengths of 1×N MMI optical power splitter.

1×N	1×2	1×4	1×8
Width(W_M)	40 μ m	80 μ m	120 μ m
Length(L_{MMI})	887 μ m	1666 μ m	1834 μ m

설계된 1×N MMI 광파워 분리기 제작오차에 따른 출력변화를 알아보기 위해 제작 변수가 되는 다중모드

영역의 폭 W_M , 다중모드 영역의 길이 L_{MMI} 와 입력 파장변화에 따른 손실 값과 출력 파워 불균형 비를 살펴 보았다. MMI 광파워 분리기기의 모델링에 사용한 이온교환 채널형 도파로의 굴절율 분포와 각 변수들은 참고문헌 [11]과 [12]의 결과를 이용하였다.

손실은 입력파워 P_i 과 각 출력 도파로의 출력 값의 합 P_o 의 비로 식 (2)를 이용하였다.

$$Excess\ loss = 10 \log \frac{P_o}{P_i} [dB] \quad (2)$$

출력 파워 불균형 비는 각각의 출력 단에서 나오는 출력 파워 중 최대 값 P_{Max} 와 최소 값 P_{Min} 의 비를 [dB]로 나타낸 것으로 식 (3)을 이용하였다.

$$Unbalance = 10 \log \left(\frac{P_{Min}}{P_{Max}} \right) [dB] \quad (3)$$

그림 2는 1×2, 1×4, 1×8 MMI 광파워 분리기기의 파장에 따른 출력 특성을 모의실험한 결과이다. 설계 파장인 1.55 μ m에서 가장 큰 출력 특성을 가지며 입력 파장의 증감에 따라 출력 값이 조금씩 감소함을 보여주고 있다. 각 출력에서의 손실은 1.50 μ m~1.60 μ m파장 범위 내에서 1×2의 경우 0.25~0.43[dB], 1×4의 경우 0.15~0.89[dB], 1×8의 경우 0.17~1.12[dB]로 출력단 수가 증가함에 따라서 손실이 증가하고 있으며 출력 파워간 파워 불균형 비는 출력단 수가 적을수록 균일하고 출력단 수가 증가함에 따라서 커짐을 알 수 있다.

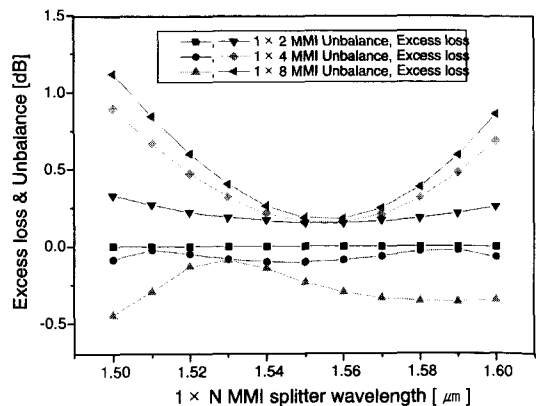


그림 2. 1×N MMI 광파워 분리기기의 파장에 따른 손실과 파워 불균형 비

Fig. 2. Excess losses and unbalances of 1×N MMI optical power splitter for varying the wavelength.

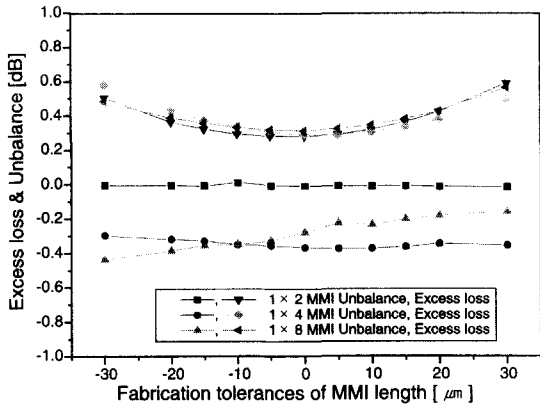


그림 3. 1×N MMI 광파워 분리기의 다중모드영역 길이 L_{MMI} 의 제작허용 오차에 따른 손실과 파워 불균형 비

Fig. 3. Excess losses and unbalances of 1×N MMI optical power splitter for varying the fabrication tolerances of MMI length.

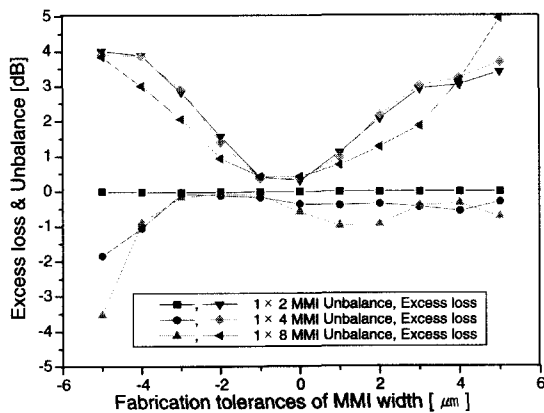


그림 4. 1×N MMI 광파워 분리기 of 다중모드영역 폭 W_M 의 제작허용 오차에 따른 손실과 파워 불균형 비

Fig. 4. Excess losses and unbalances of 1×N MMI optical power splitter for varying the fabrication tolerances of MMI width.

그림 3은 1×2, 1×4, 1×8 MMI 광파워 분리기 of 다중모드 영역의 폭 W_M 가 40 μ m, 80 μ m, 120 μ m로 고정되어 있을 때 다중모드 영역의 길이 L_{MMI} 의 제작허용 오차에 따른 손실과 출력 단에서의 파워 불균형 비를 나타내고 있다. 그림 3에서 L_{MMI} 의 제작허용 오차가 0인 점은 표 1의 MMI 광파워 분리기 설계시 구해진 값으로 소자제작 공정에서 L_{MMI} 의 제작 오차가 없는 것을

의미하며 이 거리에서 최소의 손실을 보이고 있다. 파워 불균형 비는 다중모드 영역의 길이 L_{MMI} 의 제작허용 오차 변화보다는 출력단 수 증가에 따라 더 크게 변화함을 알 수 있다. 출력단 수가 적을수록 균일한 파워 분리를 보이고 출력단 수가 증가함에 따라 파워 불균형 비는 감소한다. L_{MMI} 의 제작허용 오차에 따른 손실은 $\pm 30\mu$ m 범위 내에서 0.3~0.6dB범위의 값을 가지며 L_{MMI} 의 제작허용 오차가 0인 지점에서 가장 적은 손실 값을 보인다. L_{MMI} 의 제작허용 오차가 증가하면 손실이 증가함을 알 수 있다.

그림 4는 1×2, 1×4, 1×8 MMI 광파워 분리기 of 다중모드 영역 길이 L_{MMI} 를 고정시킨 후 다중모드 영역의 폭 W_M 를 변화시켰을 때 그에 따라 나타나는 손실과 파워 불균형 비를 보이고 있다. W_M 의 제작허용 오차가 0인 점은 표 1에 주어진 다중모드 영역의 폭으로 1×2의 경우 40 μ m, 1×4는 80 μ m, 1×8의 경우 120 μ m이다. 그림 4를 통해서 다중모드 영역의 폭 W_M 의 제작허용 오차가 증가하거나 감소함에 따라 손실이 증가함을 알 수 있다. 이것은 다중모드 영역의 폭 W_M 이 변화하면 N개의 이미지가 생성되는 위치가 변화하기 때문으로 $\pm 1\sim 2\mu$ m정도 폭의 제작오차가 발생할 경우 약 1~2dB 정도의 손실이 발생한다. 그리고 1×2, 1×4 MMI 광파워 분리기 of 손실 그래프가 1×8 MMI 광파워 분리기 손실 그래프보다 일정 범위에서 급한 경사를 나타내고 있는데 이러한 원인은 전자의 경우 출력도파로 사이의 간격(20 μ m)이 후자의 출력도파로 사이의 간격(15 μ m)보다 크기 때문에 발생한 손실 때문이다.

결과적으로 MMI 광파워 분리기 of 광파장에 대한 대역폭은 출력도파로의 수에 반비례하고 이러한 특성이 출력의 수를 제한하게 된다. 다중모드 영역의 폭 W_M 의 제작허용 오차는 출력단의 수에 영향을 받지 않으며 단지 출력도파로 사이의 간격 W_L 에 의해 영향을 받아 W_L 이 증가하면 제작허용 오차가 감소하는 특성을 갖는다. 그리고 다중모드 영역의 거리 L_{MMI} 의 제작허용 오차는 출력도파로 수나 출력도파로 사이의 간격 W_L 과는 무관한 특성을 보인다. 또한 출력단 위치와 사용 파장이 정해지면 출력 손실과 출력 파워 불균형 비에 다중모드 영역의 폭 W_M 이 가장 큰 영향을 미치기 때문에 소자 제작 시 정확한 다중모드 영역의 폭 제어를 요한다.

III. 1×N MMI 광파워 분리기 제작 및 특성 평가

MMI 광파워 분리기 제작을 위한 이온교환 조건은 채널형 도파로 제작을 토대로 입출력 단에서는 단일모드만을 지원하고 다중모드를 영역에서 도파로 깊이 방향으로 단일 모드만을 지원할 조건을 결정하였다. 소자 제작조건으로 확산시간은 12시간이었으며, 확산농도는 $0.67[\text{MF}]-\text{NaNO}_3 + 0.33[\text{MF}]-\text{KNO}_3 + 1 \times 10^{-3}[\text{MF}]-\text{AgNO}_3$ 이었고 확산 온도는 340°C로 하였다. 소자 제작 공정은 기판 세척, Al 박막 형성, 사진공정, Al 식각, 이온교환, 그리고 Al 제거 순으로 이루어진다^[10-12]. 그림 5의 (a), (b), (c)는 이온교환 공정을 한 후 Al 마스크를 제거하지 않은 1×2, 1×4, 1×8 MMI 광파워 분리기들의 200배 확대한 그림이다.

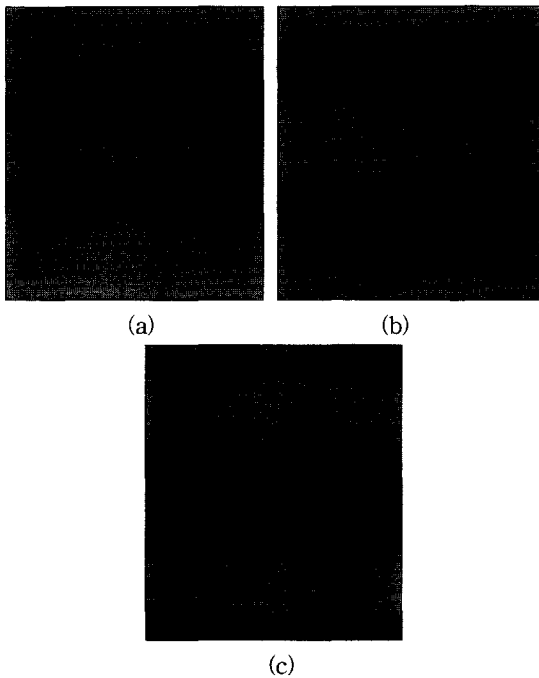


그림 5. 제작된 MMI 광파워 분리기들의 200배 확대 사진 (a) 1×2 MMI 광파워 분리기 (b) 1×4 MMI 광파워 분리기 (c) 1×8 MMI 광파워 분리기

Fig. 5. The photos magnified by 200 of fabricated MMI optical power splitter. (a) 1×2 MMI optical power splitter. (b) 1×4 MMI optical power splitter. (c) 1×8 MMI optical power splitter.

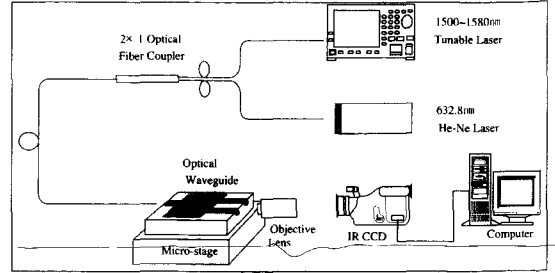
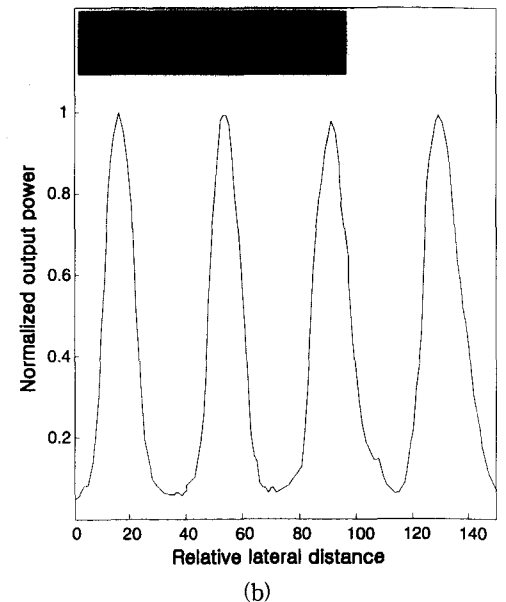
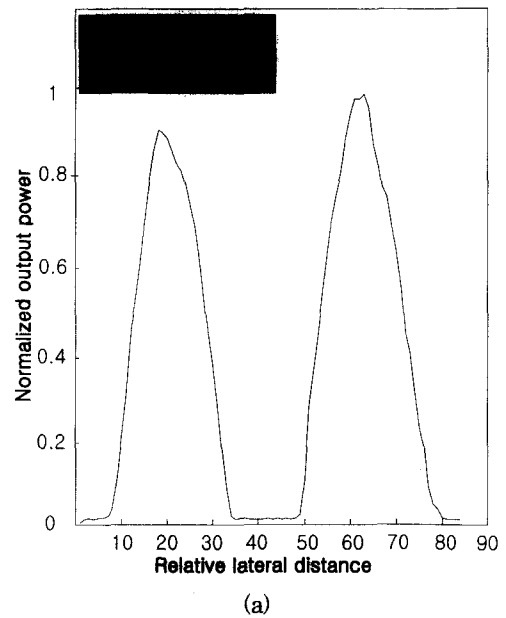
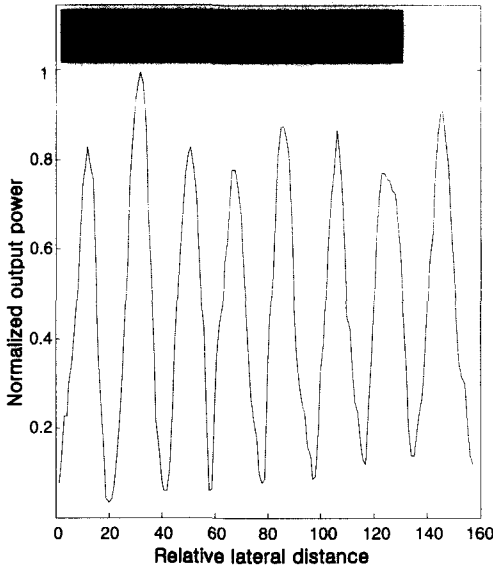


그림 6. 제작된 MMI 광파워 분리기 특성측정 시스템
Fig. 6. Measurement system of fabricated MMI optical power splitter.





(c)

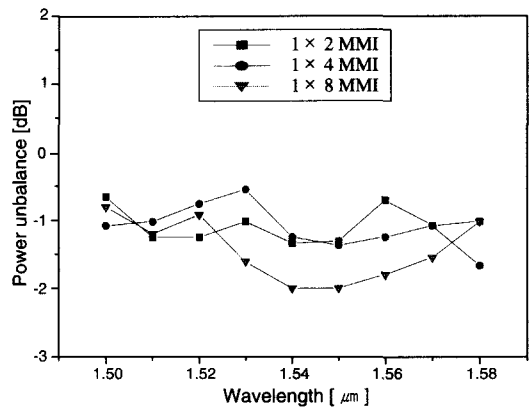
그림 7. 제작된 MMI 광파워 분리기기의 출력 모드 및 수평방향 광강도 분포 (a) 1×2 MMI 광파워 분리기 (b) 1×4 MMI 광파워 분리기 (c) 1×8 MMI 광파워 분리기

Fig. 7. Measured modes and lateral direction optical intensity distribution of fabricated MMI optical power splitters. (a) 1×2 MMI optical power splitter. (b) 1×4 MMI optical power splitter. (c) 1×8 MMI optical power splitter.

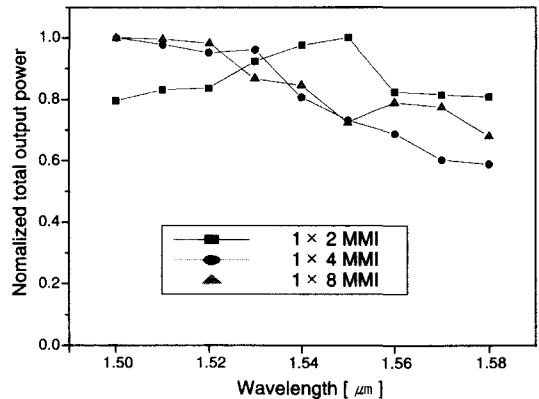
그림 6은 제작된 소자의 특성을 측정하기 위한 시스템 구성도를 나타내고 있다. 광원으로는 출력 파장이 0.6328 μm He-Ne 레이저와 1.50 μm ~1.58 μm 대역의 파장 가변 레이저를 사용하였다. 0.6328 μm He-Ne 레이저는 샘플의 시준을 위해 사용하였고 시준된 소자는 측정용 파장가변 레이저를 사용하여 샘플의 도파특성을 측정하였다. 그림 7은 제작된 1×2, 1×4, 1×8 MMI 광파워 분리기기의 1.50 μm ~1.58 μm 파장 대역에서 측정한 모드 사진 중 중심 파장인 1.55 μm 파장에서 얻은 출력 모드 사진과 중심 부분 광의 강도 값을 나타내며 1×2, 1×4, 1×8 MMI 광파워 분리기 모두 파워가 잘 분리되고 있음을 확인할 수 있다.

그림 8(a)는 제작된 1×2, 1×4, 1×8 MMI 광파워 분리기에서 파장 변화에 따른 광파워 불균형 비를 나타내고 있다. 1.50~1.58 μm 파장 범위에서 1×2 MMI 경우 최대 -1.4[dB], 1×4 MMI 경우 -1.7[dB], 1×8 MMI 경우 -2[dB] 값을 나타내고 있다. 그림 8(a)에 나타난 결과를 통해서 출력단 수가 증가함에 따라 출력

단에서 얻어지는 광파워 불균형 비가 증가함을 알 수 있었다. 이러한 결과는 앞에서 언급한 출력단수 증가에 따른 광파워 불균형 비 모델링에서 얻어졌던 결과와 유사한 형태를 가짐을 알 수 있다. 그림 8(b)는 각 파장대역에서 얻은 출력 값의 상대적인 크기로 나타낸 것이다. 설계시 사용 중심 파장을 1.55 μm 로 하여 다중 모드 영역의 길이 L_{MMI} 을 설계하였으므로 중심 파장에서 가장 큰 출력을 가져야 하고 중심 파장에서 멀어질수록 출력 값들이 감소하는 특성을 가져야 한다. 하지만 실제 측정된 결과는 설계 특성인 그림 4와 비교해 보면 1×2 MMI 광파워 분리기에서는 비슷한 출력 특성을 나타내고 있지만 1×4, 1×8 MMI 광파워 분리기에서는 다른 출력 특성을 나타내고 있다.



(a)

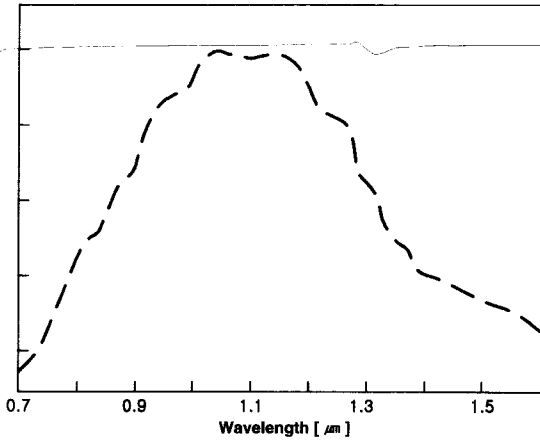


(b)

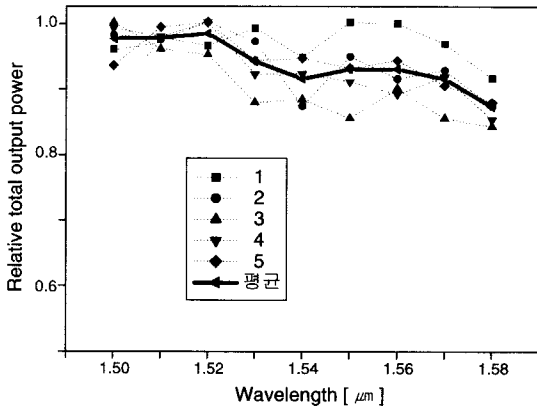
그림 8. 1×2, 1×4, 1×8 MMI 광파워 분리기기의 파장 특성. (a) 광파워 불균형 비 (b) 정규화된 출력파워

Fig. 8. Characteristics of 1×2, 1×4 and 1×8 MMI optical power splitters for varying the wavelength. (a) optical power unbalance. (b) normalized total output power.

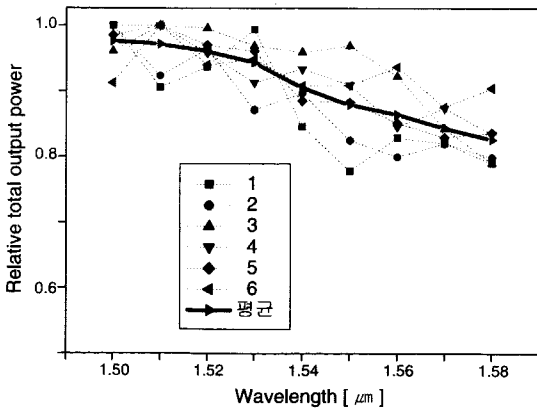
이러한 결과는 모의실험에서는 고려하지 않은 Ag⁺ 이온교환으로 제작된 도파로의 흡수와 산란 손실이 사용 파장에 따라 다르게 나타나는 특성 때문이라 생각된다. 일반적으로 그림 9(a)^[13]에서처럼 Ag⁺ 이온교환으



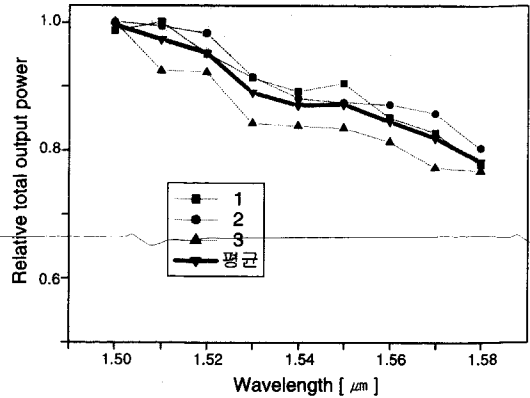
(a) 참고문헌[13]의 도파특성



(b) 3mm 길이의 채널형 도파로 도파특성



(c) 10mm 길이의 채널형 도파로 도파특성



(d) 20mm 길이의 채널형 도파로 도파특성

그림 9. Ag⁺ 이온교환법을 이용해 제작된 채널형 도파로의 파장에 따른 도파특성

Fig. 9. Transmission spectra of channel waveguide fabricated using Ag⁺ ion-exchange.

로 형성된 도파로의 경우 가시광선 영역에서는 많은 양의 광을 흡수한다. 왜냐하면 이온교환 과정에서 금속 마스크 밑에서 Ag⁺ 이온이 금속화되는 현상이 발생하기 때문이다. 이 때문에 도파로가 가시광선 영역에서 동작할 때는 흡수에 의한 큰 도파손실을 가지게 된다. 하지만 적외선 영역에서는 Ag⁺ 이온교환으로 형성된 도파로의 흡수에 의한 도파손실은 작은 수준이지만 파장이 1μm 이상에서는 파장이 증가하면 도파로의 흡수에 의한 도파손실이 증가하는 특성을 가진다.

실제 이러한 특성을 살펴보기 위해 MMI 광파워 분리를 제작한 같은 조건으로 폭 6μm, 길이 3mm, 10mm, 20mm의 채널 도파로를 제작하여 파장에 따른 도파특성을 여러번 측정하였다. 그림 9(b), 9(c), 9(d)는 3mm, 10mm, 20mm 길이의 채널 도파로의 측정된 채널 도파로의 파장에 따른 도파특성을 나타내고 있으며 파장 증가에 따라서 흡수에 의한 도파손실이 증가함을 볼 수 있다. 1×2 MMI 광파워 분리기의 경우 다중모드 영역의 길이 L_{MMI}가 짧기 때문에 파장에 따른 도파손실보다는 모드사이의 beat-length 차에 의한 손실이 소자의 출력 특성에 더 많은 영향을 미치게 된다. 그러나 1×4, 1×8 MMI 광파워 분리기 경우 다중모드 영역에서 beat-length 차에 의한 손실보다는 1×2 MMI 광파워 분리기보다 2배 이상 크기 때문에 도파로의 흡수에 의한 도파손실이 소자 특성에 많은 영향을 주어 그림 8(b)와 같은 출력 특성곡선을 보인 것으로 생각된다.

그리고 그림 8(b)의 도파특성에서 1×4 MMI 광파워 분리가 1×8 MMI 광파워 분리기 보다 손실이 그림 2의 모델링 결과와는 다르게 더 많음을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 소자 제작시 사진공정에서 발생하는 오차와 이온교환 과정에서 확산시간과 확산온도의 제어에서 발생할 수 있는 오차가 설계한 MMI의 폭과의 오차를 만들었기 때문이다. 그림 2의 손실 특성에서 1×4 와 1×8 MMI 광파워 분리의 손실특성을 보면 중심파장인 1550nm 에서 벗어난 1580nm 파장에서의 손실 차이는 약 0.1dB 정도의 매우 작은 차이만 있으며 채널수가 더 증가하면 상대적인 그 차이는 더 작아진다. 반면에 1×2 와 1×4 MMI 광파워 분리의 손실 차이가 큼을 확인할 수 있다. 즉 채널수가 증가하면 채널간의 파장에 따른 손실은 별 차이가 발생하지 않는다. 그러나 파장에 의한 손실보다 MMI 광파워 분리의 손실에 가장 크게 영향을 미치는 소자변수는 그림 4의 모델링 결과와 같이 제작과정에서 발생할 수 있는 MMI 폭의 오차이다. 그림 4에서 1×8 MMI 광파워 분리가 1×4 의 경우보다 제작허용 오차가 약 $\pm 4\mu\text{m}$ 정도까지는 손실이 더 적게 나타나며, 1dB 정도의 부가적인 손실증가를 일으키는 MMI 폭의 제작허용 오차는 약 $\pm 1.5\mu\text{m}$ 임을 확인할 수 있다. 따라서 제작공정상의 약 $\pm 1\mu\text{m}$ 정도 MMI 폭의 오차(8채널의 MMI 폭 $120\mu\text{m}$ 의 약 1% 보다 작은 공정오차에 해당)가 발생하면 그림 8(b)와 같이 1×8 MMI 광파워 분리의 손실이 1×4 의 광파워 분리기보다 손실이 증가할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 다중모드 간섭이론을 $\text{Ag}^+ - \text{Na}^+$ 이온교환 방식에 적용하여 1×2 , 1×4 , 1×8 MMI 광파워 분리를 설계 제작하고 특성을 측정하였다. FD-BPM을 이용해 MMI 광파워 분리기 제작시 변수가 되는 다중모드 영역의 폭, 다중모드 영역의 길이 그리고 파장에 따른 출력 특성을 모델링 하였다. 1×2 , 1×4 MMI 광파워 분리의 경우 출력 도파로간 이격 거리 W_L 을 $20\mu\text{m}$ 로, 1×8 MMI 광파워 분리기 경우에는 $15\mu\text{m}$ 로 설계하였으며 이때 얻어진 다중모드 영역의 폭 W_M 은 1×2 MMI : $40\mu\text{m}$, 1×4 MMI : $80\mu\text{m}$, 1×8 MMI : $120\mu\text{m}$ 였다. N개의 출력이 나타나는 거리 L_{MMI} 는 1×2 MMI : $887\mu\text{m}$, 1×4 MMI : $1666\mu\text{m}$, 1×8 MMI : $1834\mu\text{m}$ 였다. 제작된 소자들은 $1.50 \sim 1.58\mu\text{m}$ 파장 범위 내에서 1

$\times 2$ MMI의 경우 1.4dB , 1×4 MMI의 경우 1.7dB , 1×8 MMI의 경우 약 2dB 의 광파워 불균형 비를 보여주었으며 이때의 손실은 1×2 MMI의 경우 $0.96[\text{dB}]$, 1×4 MMI의 경우 $2.29[\text{dB}]$, 1×8 MMI의 경우 $1.67[\text{dB}]$ 였다.

참 고 문 헌

- [1] Z. Weissman, D. Nir, S. Ruschin and A. Hardy, "Asymmetric Y-junction wavelength demultiplexer based on segmented waveguides," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 67, pp. 302-305, 1995.
- [2] David Israel, Roel Baets, Martin J. Goodwin, Nicola Shaw, Marc D. Salik and Chris J. Groves-Kirkby, "Multimode polymeric Y junctions for star couplers in backplane optical interconnect," *Appl. Opt.*, vol. 36, pp. 5091-5096, 1997.
- [3] W. M. Henry and J. D. Love, "Asymmetric multimode Y-junction splitters," *Opt. Quantum Electron.*, vol. 29, pp. 379-392, 1997.
- [4] O. Bryngdahl, "Image formation using self-imaging techniques," *J. Opt. Soc. Amer.*, vol. 63, no. 4, pp. 416-419, 1973.
- [5] R. Ulrich, "Image formation by phase coincidences in optical waveguides," *Optics Commun.*, vol. 13, no. 3, pp. 259-264, 1975.
- [6] L. B. Soldano, F. B. Veerman, M. K. Smit, B. H. Verbeek, A. H. Dubost, and E. C. M. Pennings, "Planar Monomode Optical Couplers Based on Multimode Interference Effects," *J. Lightwave Technol.*, vol. 10, no. 12, pp. 1843-1850, 1992.
- [7] Pierre A. Besse, Maurus Bachmann, H. Melchior, L. B. Soldano, and M. K. Smit, "Optical Bandwidth and Fabrication Tolerances of Multimode Interference Couplers," *J. Lightwave Technol.*, vol. 12, no. 12, pp. 1004-1009, 1994.
- [8] Lucas B. Soldano and Erik C. M. Pennings, "Optical Multi-Mode Interference Devices Based on Self-Imaging: Principles and Applications" *J. Lightwave Technol.*, vol. 13, no. 4, pp. 615

-627, 1995.

- [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] 강동성, 전금수, 장명호, 반재경, "유리집적광학을 이용한 다중모드간섭 1×4 광파워 분리기 제작," 한국광학회지, 제 11권 6호, pp. 418-422, 2000. 12
- [11] 강동성, 김희주, 반재경, "Ag⁺-Na⁺ 이온교환법을 이용한 1.31/1.55 μ m 두파장 방향성 광 결합기의 모델링 및 제작," 한국광학회지, 제 11권 5호, pp. 335-339, 2000. 10
- [12] 강동성, 전금수, 김희주, 반재경, "이온교환법을 이용한 균등한 출력 파워를 갖는 1×5 광파워 분리기," 전자공학회논문지, 제 37권 SD편 제11호, pp. 43-49, 2000. 11
- [13] S. Iraj Najafi, Introduction to Glass Integrated Optics, Artech House, pp. 137-143, 1992.

저 자 소 개

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

張 明 灝(正會員)

1971년 2월 26일생. 1996년 2월 원광대학교 전기공학과 학사. 2001년 2월 전북대학교 대학원 전기공학과 석사. 현재 삼성전자 정보통신총괄 광소재사업팀 재직중. 주관심분야는 광통신용 광집적소자 설계 및 제작 등임

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)첼포토닉스 주임연구원. 주관심 분야는 광통신용 폴리머 광 집적소자 설계 및 제작, 유리집적광학, 광도파로 해석 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 통신 시스템 등임

潘 在 景(正會員)

1956년 2월 19일생. 1980년 2월 연세대학교 전자공학과(공학사). 1982년 2월 동대학원 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