

## Ag<sup>+</sup>-Na<sup>+</sup> 이온교환법을 이용한 비대칭형 Y-분리기의 설계 및 제작

전금수<sup>†</sup> · 강동성 · 김희주 · 반재경

전북대학교 전자정보공학부

Ⓣ 561-756 전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14

(2001년 4월 6일 받음, 2001년 7월 5일 수정본 받음)

본 논문에서는 출력 도파로의 한쪽 쪽을 변화시켜 다양한 광파워 분리비를 갖는 비대칭형 Y-분리기를 BK7 유리에 Ag<sup>+</sup>-Na<sup>+</sup> 이온교환법을 이용하여 제작하였다. FD-BPM을 이용하여 한쪽 출력 도파로의 폭에 따라 다양한 출력 파워를 얻을 수 있는 비대칭형의 Y-분리기의 도파특성을 살펴보았다. 그리고 이온교환에 의해 형성된 채널형 도파로의 굴절률 분포를 결정하고 채널형 도파로를 제작하여 도파특성도 살펴보았다. 비대칭형 Y-분리기는 한 쪽 도파로의 폭을 4 μm에서 6 μm까지 변화시키면서 제작하고 특성을 파악하였다.

분류코드 : OE.010.

### I. 서 론

광통신 시스템의 발달과 함께 광파워 분리기/합파기, 광 스위치, 변조기 등에 적용되는 Y-분리기에 대한 많은 관심이 있어왔다. Y-분리기는 구조에 따라서 대칭형과 비대칭형으로 구분할 수 있으며 대칭형 Y-분리기의 경우는 3dB 광파워 분리기로 주로 응용되어 왔으며 비대칭형 Y-분리기는 다양한 파워비를 갖는 분리기 제작이나 입력 파워를 모니터링 하기 위한 기능으로 많이 사용되었다. Sasaki 등<sup>[1]</sup>은 출력 도파로 사이의 분리각을 변화시켜 출력 파워비를 변화시킬 수 있는 비대칭형 Y-분리기를 제안 했으며, Ogusu는<sup>[2]</sup> 테이퍼 영역의 모양과 길이에 따라서 출력 파워가 달라지는 비대칭형 Y-분리기의 도파특성을 설명하였다. 그리고 Shirafuji 등<sup>[3]</sup>은 두 출력 도파로 사이에 이격을 두어 다양한 출력비를 갖는 비대칭형 Y-분리기를 제안하였다. 하지만 출력 도파로의 분리각이나 테이퍼 길이로 출력 파워를 조절하게 되면 손실이 큰 문제로 발생한다. 분리각의 경우는 1° 이상에서 손실이 급격히 증가하게 되고 원하지 않는 모드 변환이 발생하게 된다. 분리각을 크게 하기 위한 많은 논문들이<sup>[4]</sup> 발표되었지만 제작 과정이 복잡하고 파장 의존적인 특성 때문에 실제 사용에 제한을 받게된다. 그리고 이격을 갖는 Y-분리기의 경우는 출력 파워 비가 사용 파장에 민감한 방향성 결합기의 특성을 갖기 때문에 광대역 시스템에는 적용이 어려운 단점을 갖는다.

본 논문에서는 기존의 비대칭형 Y-분리기가 가지는 단점을 개선하고자 출력 도파로의 한쪽 쪽을 변화시켜 다양한 광파워 분리비를 갖는 비대칭형 Y-분리기를 BK7 유리에 Ag<sup>+</sup>-Na<sup>+</sup> 이온교환법을 이용하여 제작하였다. FD-BPM을 이용하여 한쪽 출력 도파로의 폭에 따라 다양한 출력 파워를 얻을 수 있

는 비대칭형 Y-분리기의 도파특성을 살펴보았다. 비대칭형 Y-분리기를 제작하기 전에 이온교환에 의해 형성된 채널형 도파로의 굴절률 분포를 결정하고 채널형 도파로를 제작하여 도파로의 도파특성을 살펴보았다.

본 논문의 2장에서는 이온교환에 대한 간단한 설명과 채널형 도파로의 굴절률 분포를 살펴보고 3장에서는 비대칭형 Y-분리기에 대한 모델링을 하였으며 4장에서는 제작 과정과 제작된 소자의 특성을 측정하였다. 그리고 5장에서는 결론을 맺었다.

### II. 이온교환 및 굴절률 변화

이온교환으로 유리에 광 도파로가 형성되는 원리는 유리 내부에 포함되어 있는 단가의 양이온(Na<sup>+</sup>)과 외부에서 공급되는 크고 높은 편극 특성을 지닌 양이온(Ag<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cs<sup>+</sup>, Ti<sup>+</sup>)이 부분적으로 교환됨으로써 기관 내부의 일정 부분의 굴절률 증가를 야기시켜 도파로를 형성하게 된다. 이온교환 공정을 유리 도파로 제작에 사용할 경우 다음과 같은 장점을 가진다. 첫째 제작 변수(온도, 농도, 시간)에 대한 선택이 다양하게 이루어질 수 있으므로, 다양한 응용에 최적화가 가능하다. 둘째 공정이 간단하고, 다량의 일괄 처리가 가능하므로 대량 생산을 통한 소자의 저가화가 가능하다. 셋째 유리를 이용하여 도파로를 제작하므로 적은 전송 손실을 가진다. 넷째 기존의 단일 또는 다모드 광섬유와 구성성분이 비슷하므로 굴절률 차에 의한 접합 손실을 줄일 수 있다.<sup>[5]</sup>

고성능의 도파로의 제작은 낮은 전송 손실과 적합한 굴절률의 변화가 요구되기 때문에 여러 가지의 소스 중에서 적절한 소스의 선택이 필요하다고 할 수 있다. 본 논문에서는 농도에 따른 굴절률의 변화를 정밀하게 제어할 수 있으며, 등방성의 특성을 가진 Ag<sup>+</sup> 이온을 확산원으로 사용하였다. 그리고 기관 재료로는 가시광선 영역과 근적외선 영역에서 광학적 투과 특

<sup>†</sup>E-mail: keumsoo@netian.com

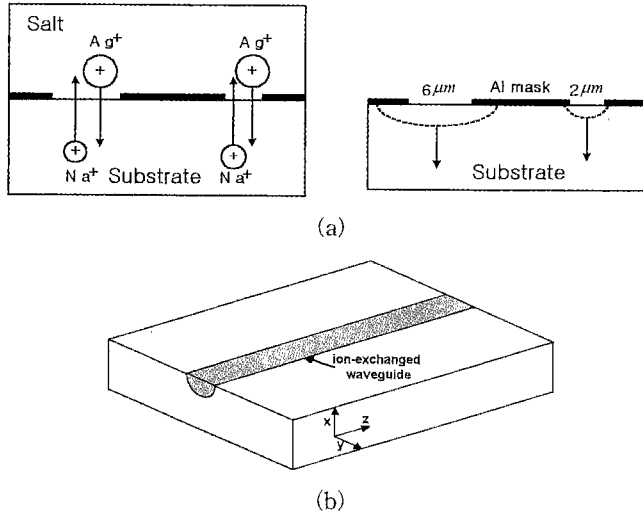


그림 1. (a) Ag<sup>+</sup>-Na<sup>+</sup>이온교환 개념도와 (b) 채널형 도파로.

성이 우수하고 비교적 Na<sup>+</sup> 이온 성분이 많이 함유된 BK7 유리를 사용하였다.<sup>[7]</sup>

그림 1(a)는 이온교환에 의해 채널형 도파로가 형성되는 원리를 보여주고 있다. 유리기판에 함유된 Na<sup>+</sup>이온과 염으로 공급되는 Ag<sup>+</sup> 이온 사이에 교환이 발생하고 교환된 부분의 이온의 크기와 편극특성이 다르기 때문에 기판의 굴절률이 상승하여 도파로를 형성하게 된다. 그림 1(b)는 이렇게 형성된 채널형 도파로를 나타내며, 이 채널형 도파로의 굴절률 분포<sup>[8]</sup>는 폭 방향으로 Gaussian 분포를 깊이 방향으로 ERFC 형태를 하여 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$N(x, y; \lambda) = n_s(\lambda) + \Delta n(\lambda) \operatorname{erfc}(x/d)$$

$$\left[ \exp\left(-\frac{(y - W_M)^2}{W_i^2}\right) \cdot U(y - W_M) + \exp\left(-\frac{(y + W_M)^2}{W_i^2}\right) \cdot U(-y - W_M) + U(y + W_M) - U(y - W_M) \right] \quad (1)$$

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

여기에서  $x=0$ 은 광도파로의 표면을 의미하며,  $\lambda$ 는 자유공간 상태에서의 파장을,  $n_s(\lambda)$ 는 파장에 따른 기판의 굴절률을,  $\Delta n(\lambda)$ 는 파장에 따른 광도파로의 최대 굴절률 변화를,  $d$ 는 도파로의 유효 확산깊이를,  $W_M$ 은 마스크의 폭을, 그리고  $W_i$ 는 폭방향의 유효확산 반폭을 나타낸다. 굴절률 분포의  $1/e$ 에 해당하는  $W_i$ 는 이온교환 공정으로 인하여 실제 마스크 폭  $W_M$ 에 비해 2~3배 정도 넓어지게 되는데 이것은 이온이 깊이 방향으로만 진행되는 것이 아니고 측면방향으로도 진행하면서 이온이 교환되기 때문에 실제 마스크 폭 안쪽으로 측면 확산이 이루어지기 때문이다.

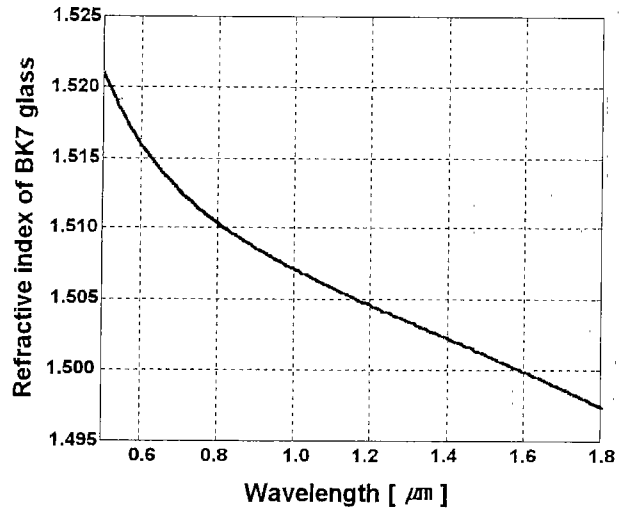


그림 2. 파장에 따른 BK7 유리의 굴절률.

식 (1)에서 유효 확산깊이  $d$ 는 식 (2)를 이용하여 구할 수 있다.<sup>[9]</sup>

$$d = \sqrt{D_e t}$$

$$D_e(T) = D_0 e^{-\Delta H/RK}$$

$$\ln D_e(T) = \ln D_0 - \frac{\Delta H}{RK} \quad (2)$$

$t$ : 확산시간,  $D_e$ : 확산계수,  $D_0$ : 확산상수,  $K$ : 확산온도

여기에서  $\Delta H$ 는 활성화 에너지를 나타내며 온도와 관련된 기체상수  $R$ 은 8.314[J/K]이며  $K$ 는 절대온도를 나타낸다. 평판형 도파로 제작<sup>[10]</sup>을 통하여 확산계수  $D_e$ 는 확산온도 340°C에서 0.355[μm<sup>2</sup>/min]이며 또한  $\ln D_e$ 와  $1/K$ 의 관계곡선의 기울기  $\Delta H/R$ 은 13206[m<sup>2</sup>/sec]로 결정하였다. 따라서 활성화 에너지  $\Delta H$ 는 1.098×10<sup>5</sup>[J]이 되며 확산상수  $D_0$ 는 1.2597×10<sup>-6</sup>[m<sup>2</sup>/sec]가 되었다.

BK7 기판의 파장에 따른 굴절률은 그림 2와 같으며 632.8 nm일 때 BK7 기판의 굴절률은 약 1.5145이고 1.3 μm에서의 굴절률은 약 1.5033, 1.55 μm 파장에 대해서는 약 1.5004로써 파장이 길어지면 굴절률은 감소하게 된다. 최대 굴절률 변화값  $\Delta n(\lambda)$ 은 이온교환시 이온의 농도가 일정하면 동작 파장영역에서는 상수가 되기 때문에 평판형 도파로를 측정하여 얻은 값을 이용하였다. 유효 확산깊이  $d$ 는 식 (2)에서 얻은 값에 채널형 도파로에 대한 비례상수를 적용하였다. 채널형 도파로의 경우는 평판형 도파로에 비하여 염액과 접촉하는 면적이 적기 때문에 확산 깊이도 영향을 받게 된다. 이온 교환 도파로의 경우 확산 깊이에 대한 확산폭의 비가 2.5~3배가 되기<sup>[11]</sup> 때문에 본 논문에서 마스크 폭  $W_M$ 에 따른 유효확산 반폭  $W_i$ 를 식 (3)과 같이 결정하였다.

$$W_i = C W_M, C = \frac{1}{7}(W_M - 3) + 2.5 \quad (3)$$

이렇게 구해진 상수값을 식 (1)에 대입하여 얻은 Ag<sup>+</sup>-Na<sup>+</sup> 이온교환으로 형성된 채널 도파로의 파장 1.55 μm에서의 굴절률

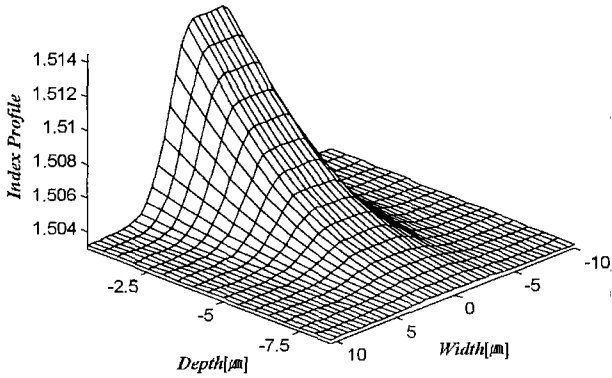


그림 3. 채널형 광도파로의 굴절률 분포.  $W_M=3[\mu\text{m}]$ ,  $t=12[\text{h}]$ ,  $T=340[\text{°C}]$ ,  $\lambda=1.55[\mu\text{m}]$ .

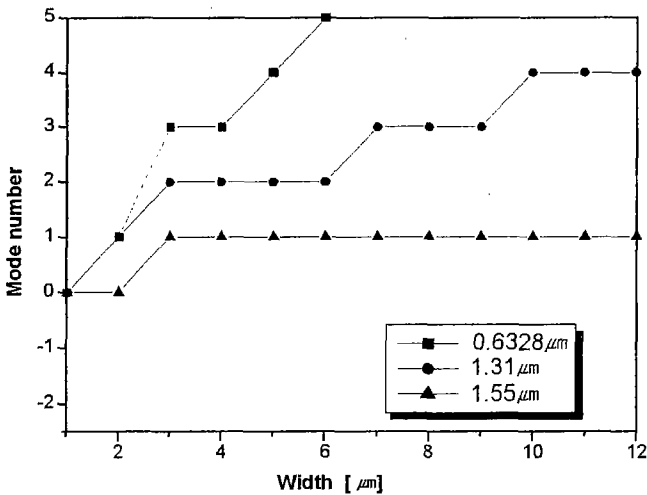


그림 4. 채널형 도파로의 폭에 따른 모드 수.

분포는 그림 3과 같다. 이 때의 마스크의 폭은  $3\mu\text{m}$ 이고 공정조건은 확산시간 12시간, 확산 이온 농도  $0.67[\text{MF}]\text{NaNO}_3 + 0.33[\text{MF}]\text{KNO}_3 + 1 \times 10^{-3}[\text{MF}]\text{AgNO}_3$ , 그리고 확산온도  $340\text{°C}$ 이다. 여기에서 MF는 몰분율을 나타낸다. 최대 굴절률 변화량  $1.55\mu\text{m}$  파장에서 최대굴절률 변화량  $\Delta n$ 은 0.0116이며, 최대 굴절률 변화량의  $1/e$ 에 해당하는 유효 확산 폭  $2W_s$ 와 유효 확산 깊이  $d$ 는 각각  $7.5\mu\text{m}$ 와  $3.5\mu\text{m}$ 이다.

그리고 광통신 시스템에서 사용되는 대부분의 소자들은 단일모드 조건에서 동작하는 특성을 갖고 있기 때문에 채널형 도파로의 단일모드 조건의 확립은 중요하다. 그림 3의 굴절률 분포를 이용할 경우 채널형 도파로의 깊이 방향으로의 항상 단일모드만을 지원하기 때문에 도파로의 폭만을 변수로 하여 채널형 도파로의 단일모드 조건을 구할 수 있다. 그림 4는 채널형 도파로 폭에 따른 여기 모드 수를  $0.6328\mu\text{m}$ ,  $1.31\mu\text{m}$ ,  $1.55\mu\text{m}$  파장에서 나타낸 그림이다.  $1.55\mu\text{m}$  파장에서는 최대  $12\mu\text{m}$ 의 도파로 폭까지 단일모드만을 여기 함을 알 수 있다.

### III. 비대칭형 Y-분리기 모델링

출력 파워가 다른 비대칭형 Y-분리기 제작시 변수가 되는

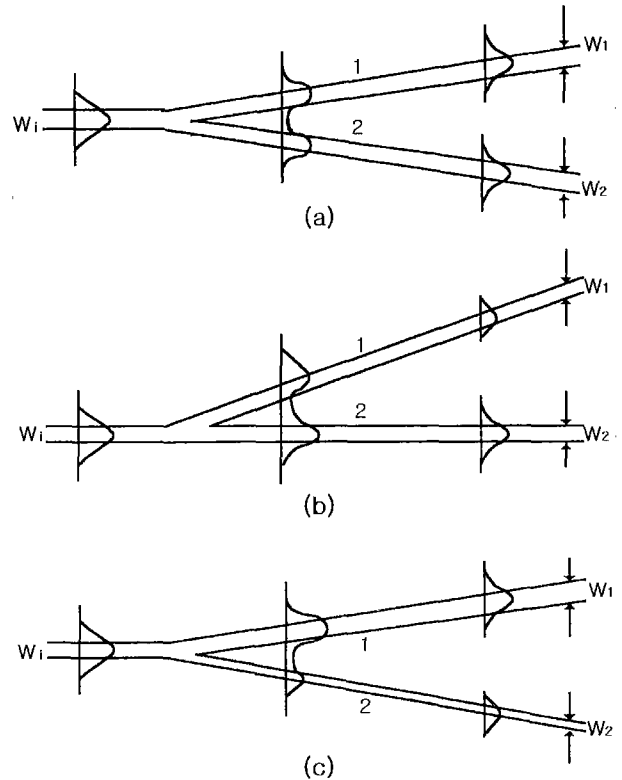


그림 5. Y-분리의 동작 원리. (a) 대칭형 Y-분리기 (b) 출력 도파로의 한쪽 분리각에 다른 비대칭형 Y-분리기 (c) 출력 도파로 폭이 다른 비대칭형 Y-분리기.

분리각과 출력단 도파로 폭 변화에 따른 출력 특성을 FD-BPM법을 이용하여 모델링 하였다. Y-분리의 손실에 영향을 미치는 중요한 요인은 크게 두 가지가 있다. 첫 째는 Y-분리기에서 입력 도파로가 두 개의 출력 도파로로 분리되는 지점에서 필연적으로 갖게 되는 테이퍼 영역이다. 일반적으로 테이퍼 영역의 길이가 길어질수록 약간의 손실이 증가하는 경향이 있으며 비대칭형 Y-분리기 경우는 테이퍼 모양과 길이에 따라서 출력 광파워비가 크게 변화하는 특성을 갖는다.<sup>[2]</sup> 두 번째는 두 출력 도파로의 분리각이 가장 큰 영향을 주게 된다. 분리각이 크면 출력단의 두 출력 도파로에 광이 완전히 구속되지 못하고 방사되는 양이 증가하여 결과적으로 Y-분리기의 손실을 증가시키게 된다. 이러한 결과는 입력되는 입력 광의 파워 분포가 도파로 중심으로 가우시안 형태의 모습을 가지고 있기 때문에 중앙에는 많은 파워가 존재하고 측면으로 갈수록 파워가 적어지기 때문이다.

그림 5는 일반적인 Y-분리기의 모습을 나타내고 있다. 그림 5(a)는 대칭형 Y-분리기로 50:50의 파워 분리기로 사용되며 그림 5(b)와 (c)는 출력 파워를 다르게 할 수 있는 비대칭형의 Y-분리기를 나타내고 있다. 그림 5(b)는 한쪽 출력 도파로의 분리각을 다르게 한 경우이며 그림 5(c)는 한쪽 출력 도파로 폭을 다른 비대칭형 Y-분리기를 나타내며 본 논문에서는 위 세 가지의 Y-분리기에 대한 모의실험을 하였다. 그리고 모의실험과 소자 제작에서는 그림 5와 같은 직선형의 Y-분리기를 사용하지 않고 산란손실을 줄이기 위해 곡선을 갖는 S형

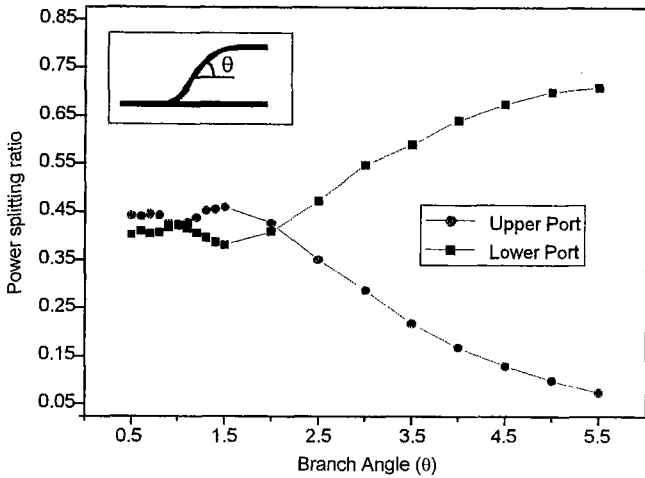


그림 6. 비대칭형 Y-분리기의 출력 도파로의 분리각에 따른 출력 특성.

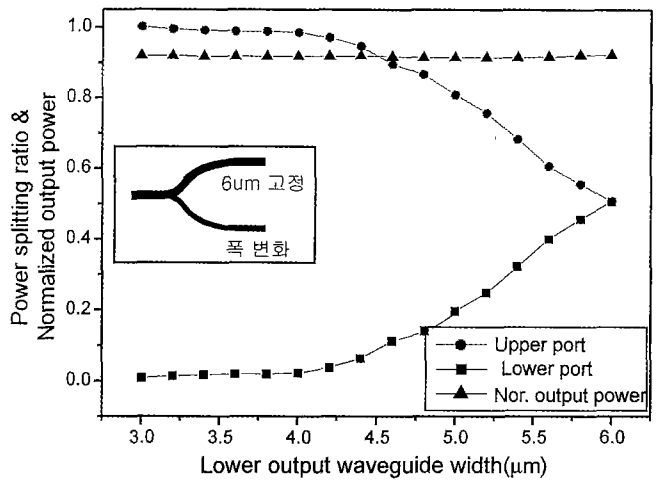


그림 7. 비대칭형 Y-분리기의 출력 도파로 폭에 따른 출력 특성.

의 가치를 사용하였다.

그림 6은 출력단 도파로폭( $W_1=W_2$ )을 일정하고 아래 쪽 출력 도파로는 그림 5(b)에서처럼 직선으로 유지하고 위쪽 출력 도파로의 분리각을 0~5.5°까지 변화시키면서 얻은 광파워 분리비이다. 그림 6에서 출력 도파로의 분리각이 작을 경우에는 출력 파워가 진동하는 특성을 나타내고 있다. 그 이유는 분리각이 작게 되면 도파로 분기 지점에서의 테이퍼 영역이 길어지기 때문에 출력 도파로 사이의 간격이 작아져 도파로 사이의 모드 결합이 발생하기 때문이다. 이 경우 광 진행 방향에 따라서 도파로 사이의 결합계수가 일정하지 않고 결합되는 광파워 양은 분기점에서의 광전계 분포와 분기각에 의존하게 된다. 분리각이 일정각도 이상이 되면 분리각이 증가함에 따라 출력단에서 얻어지는 출력 파워가 단조감소함을 알 수 있다. 그러나 분리각을 이용한 광 파워 분리는 일정각도 이상이 되면 광파워 분리비가 증가함에 따라서 두 출력 도파로의 분기점에서 기판으로 빠져 나가는 파워가 증가하게 되어 결국 손실이 증가하게 된다. 또한 각도가 증가함에 따라 출력 도파로 사이의 간격이 일정하지 않게 되므로 광섬유와 접촉시 사용하는 V-groove도 다양한 규격을 필요로 하게되는 단점을 가진다.

그림 7은 분리각과 위쪽 도파로 폭( $W_1$ )을 고정하고 아래쪽 출력 도파로의 폭( $W_2$ )을 변화시키면서 얻은 광파워 분리비를 보여주고 있다. 여기에서 ●은 위쪽 도파로의 출력파워를 ■는 아래쪽 도파로의 출력파워를 그리고 ▲는 입력 파워와 총출력 파워의 비를 나타낸다. 분리각은 손실이 적고 소자의 크기를 짧게 제작할 수 있도록 1°로 고정하였으며, 위쪽 출력 도파로 폭과 입력단 도파로 폭은 6 μm하고 아래쪽 출력 도파로 폭을 3~6 μm까지 증가시켰다. 그림 7에서 50:50의 광파워 분리비는 위쪽 출력 도파로 폭과 아래쪽 출력단 도파로 폭이 6 μm로 같은 경우에 얻을 수 있으며, 임의의 출력 파워비는 비대칭형 Y-분리기의 아래쪽 출력 도파로의 폭을 적절히 조절하면 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 손실특성(▲)을 보면 아래쪽 출력 도파로 폭이 변해도 손실에는 영향을 미치지 않음을 확

인할 수 있다. 결과적으로 도파로 폭의 변화에 따른 출력 변화는 분리각에 따른 결과와 비교해 볼 때 손실이 적고 비교적 쉽게 도파로 폭만을 변화시켜 원하는 출력 파워비를 얻을 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 각도 변화에 따른 비대칭형 Y-분리기는 제작하지 않고 출력 도파로 폭이 다른 비대칭형 Y-분리기만을 제작하였다. 그리고 Y-분리기는 단일 모드만을 여기 시키는 조건이라면 파장에 거의 무관하게 동작하기 때문에 비대칭형 Y-분리기의 파장에 대한 출력 특성은 생략하였다.

#### IV. 제작 및 측정

광도파로의 제작공정은 그림 8에서와 같이 기판세척, Al 박막형성, 사진공정, Al 식각, 이온교환, 연마 순으로 이루어진다. ① 기판세척 - 균일한 Al 박막을 형성하고 박막의 집착도를 향상시키기 위해서 BK7을 유기물세척공정과 무기물 세척공정을 이용하여 세척하였다. ② Al 박막형성-세척이 끝난 BK7에 E-Beam 증착기를 사용하여 Al을 1000Å 두께로 증착했다. ③ 사진공정-Al 박막 형성 후 패턴형성을 하기 위하여 AZ4562 감광제로 스펀코팅을 하였다. 감광제가 유동성이기 때문에 이 속에 포함된 휘발성 물질을 제거하고 감광제를 Al박막에 고착하기 위하여 실온에서 5분간 Pre-Baking을 하였고 90°C에서 20분간 Soft Baking 작업을 하였다. Baking 공정이 끝난 기판위에 마스크를 위치시키고 30초간 자외선 노광을 실시하여 기판에 패턴을 형성시켰다. ④ 현상공정-사진공정이 끝난 Al 박막의 패턴이 형성된 부분을 현상액을 사용하여 제거한다. ⑤ Al 식각-기판 표면에 패턴화된 Al 박막을 식각하고 나머지 감광제를 제거한 후 이온교환 공정을 수행한다. ⑥ 이온교환 공정-이온교환온도 340°C, 이온교환시간 12 h, 확산이온농도 0.67[MF]AgNO<sub>3</sub>+0.33[MF]KNO<sub>3</sub>+1×10<sup>-3</sup>[MF]AgNO<sub>3</sub>의 조건으로 이온교환 공정이 끝난 후 상온에서 자연냉각시킨다. 연마(Polishing)공정 - 제작된 광도파로의 도파특성을 확인하기 위해서는 광 도파로의 입출력 부분을 최소 λ/4 이내의 평탄도를 유지하도록 사포(#400, #800, #1200, #2000)로 연마한 후 알루미늄 분말(1 μm, 0.3 μm)과 증류수를 혼합한 용액

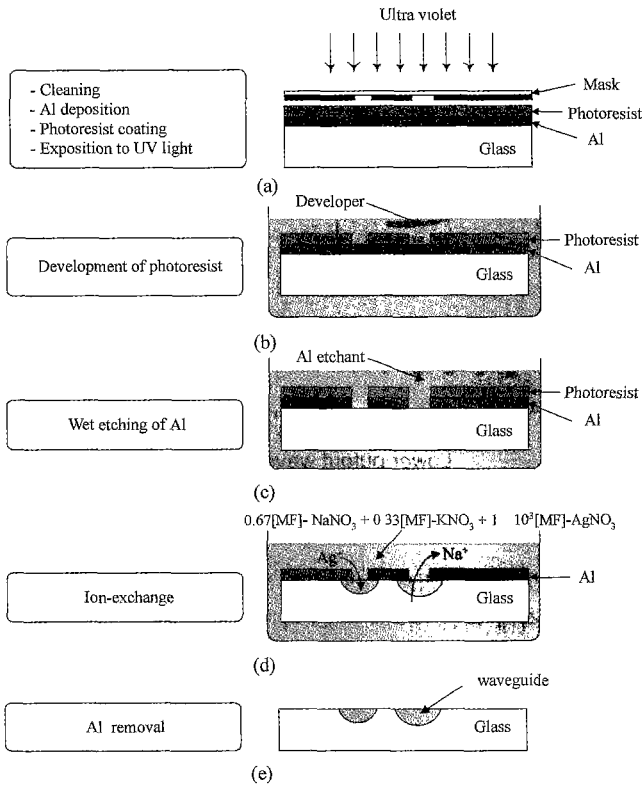


그림 8. 비대칭형 Y-분리기 제작공정.

을 이용하여 연미용 패드에서 마무리했다.

제작공정에서 확산 원으로 순수한  $\text{AgNO}_3$ 를 사용하지 않고  $\text{NaNO}_3$ 에 희석하여 사용한 이유는 순수한  $\text{AgNO}_3$ 를 사용할 경우 최대 굴절률 변화량이 0.1정도가 되어 매우 짧은 시간에 다중모드가 형성되기 때문에 소자 제작을 위해서는 정확한 온도제어 뿐만 아니라 수 초 범위의 시간 제어가 필요하게 된다. 따라서  $\text{NaNO}_3$ 에 희석하여 사용하면 수 시간동안의 이온교환에서 단일 모드가 형성되기 때문에 공정시간을 매우 정확하게 제어하지 않아도 원하는 특성을 얻을 수 있으며 굴절률 변화를 정확히 예측할 수 있다.  $\text{KNO}_3$ 의 역할은 이온교환 중에

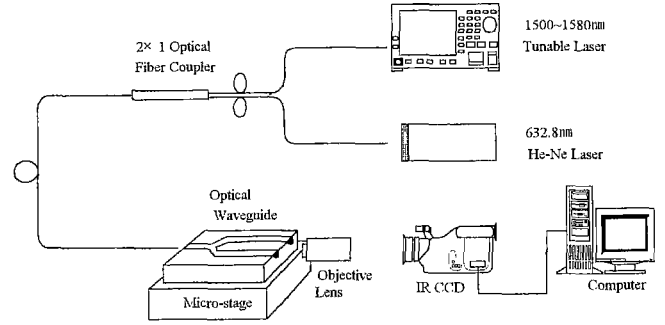


그림 9. 제작된 소자의 출력특성 측정시스템.

BK7 내부에 존재하는  $\text{K}^+$  이온이 외부로 확산되는 것을 방지하여 기판 내부의  $\text{Na}^+$  이온과 확산 원인  $\text{Ag}^+$  이온만의 순수한 이온교환을 위해서이다.

또한 이온교환에 의해 형성된 도파로의 경우  $\text{Ag}^+$ 이온 교환이 균일하지 않으면 도파로 표면에 압력(stress)을 야기시키거나 표면에 금속화 이온을 만들어 손실을 증가시키기 때문에 손실이 적은 도파로를 제작하기 위해서는 도파로 제작후 별도의 annealing 공정을 하거나 2차 이온교환 공정을 수행하여 금속화된 이온을 제거하거나 도파로를 기판 내부로 깊게 확산시켜 손실을 줄이는 공정을 수행한다. 하지만 이온 농도를 묽게 하고 교환 시간을 12시간 정도 충분히 길게 하면 도파로 제작시 별도의 annealing 공정을 하지 않아도 어느 정도 annealing 효과를 얻을 수 있게 된다.

채널형 도파로와 비대칭형 Y-분리의 도파 특성을 측정하기 위하여 그림 9와 같은 측정 시스템을 이용하여 도파 모드를 측정하였다. 광원으로는 출력 파장이  $0.6328 \mu\text{m}$  He-Ne 레이저와  $1.50\sim 1.58 \mu\text{m}$  대역의 파장 가변 레이저를 사용하였다.  $0.6328 \mu\text{m}$  He-Ne 레이저는 시준을 위해서 사용하였다. 도파된 광은 IR-CCD(Electrophysics의 model 7290A)를 사용하여 출력 모드를 측정하였으며 연결된 컴퓨터를 이용하여 출력 모드와 출력 파워를 측정하였다.

그림 10에서  $1.55 \mu\text{m}$  파장에서 제작된 직선형 채널 도파로의 도파특성을 보였다. 모드 측정 결과  $3\sim 12 \mu\text{m}$  도파로

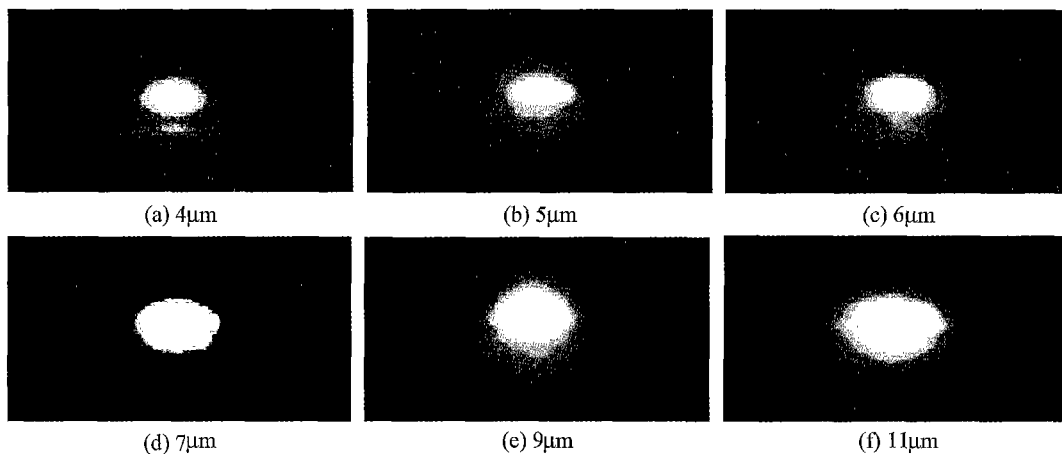


그림 10.  $1.55 \mu\text{m}$  파장에서 채널폭에 따른 도파로의 도파모드.

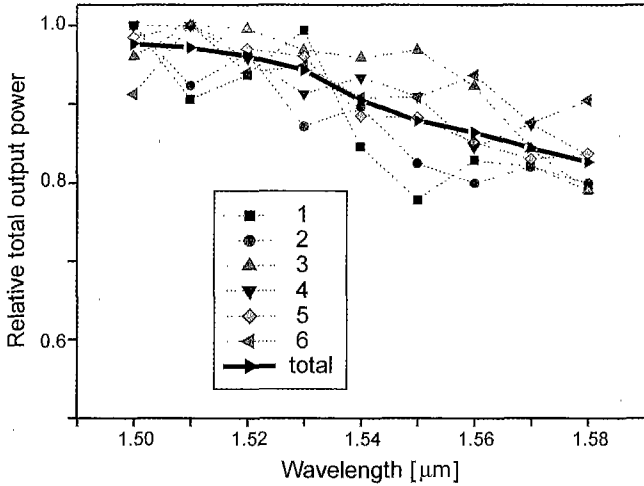


그림 11. Ag<sup>+</sup> 이온교환법을 이용해 제작된 채널형 도파로의 파장에 따른 도파특성.

폭에 대해 1.55 μm 파장에서는 모두 단일모드가 관찰되었으며 그림에서는 대표적인 결과만을 보였다. 0.6328 μm의 경우는 그림에서는 생략하였지만 2 μm이상의 도파로 폭에서 다중모드가 관찰되었다. 그림 11은 폭 6 μm, 길이 10 mm의 채널형 도파로의 파장에 따른 도파특성으로 파장 증가에 따라 출력 파워가 감소함을 볼 수 있다. Ag<sup>+</sup> 이온교환으로 형성된 도파로의 경우 이온교환 과정에서 금속 마스크 밑에서 Ag<sup>+</sup> 이온이 금속화되는 현상이 발생하기 때문에 가시광선 영역에서는 흡수에 의한 큰 도파손실을 나타내게 된다.<sup>[7]</sup> 1 μm 정도의 근적외선 영역에서는 Ag<sup>+</sup> 이온교환으로 형성된 도파로의 흡수에 의한 도파손실은 상당히 작은 수준이지만 파장이 1 μm 이상에서는 파장이 증가하면 도파로의 흡수에 의한 도파손실이 증가하며 그림 11과 같은 특성을 나타낸다.

비대칭형 Y-분리기는 한 쪽 도파로의 폭은 6 μm로 고정하고 다른 쪽 도파로의 폭은 4 μm에서 6 μm까지 0.5 μm의 간격으로 제작하였다. 그림 12는 각 도파로 폭에서 비대칭형 Y-분리기의 출력 모드 특성을 나타낸 것이다. 그림 13은 모델링 결과와 측정결과를 비교한 것으로 실선은 그림 7의 모델링 결과를 나타낸다. 두 출력 도파로의 폭이 같은 대칭형의 경우

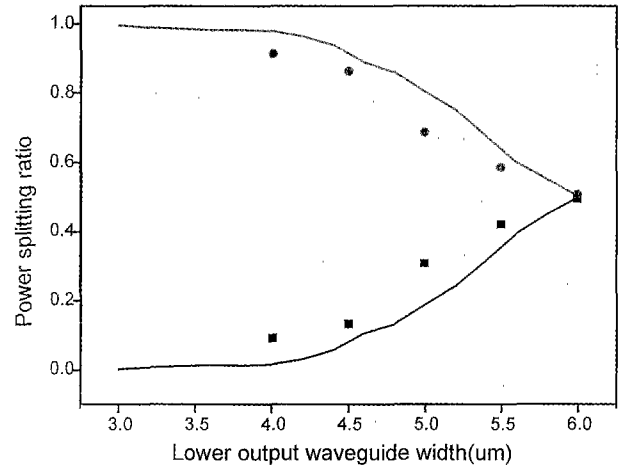


그림 13. 모델링과 측정결과와의 광파워 분리비 비교.

는 정확히 모델링 결과와 일치하지 않지만, 비대칭형 Y-분리기의 경우는 모델링 결과와 다소 오차가 있음을 확인할 수 있다. 이러한 오차는 결과는 제작 공정 중 사진공정과 이온교환 과정에서의 나타날 수 있는 공정 오차에 기인한 것으로 생각되며, 실험결과 한쪽 도파로의 폭을 변화시켜 다양한 광파워 분리비를 갖는 비대칭형 Y-분리기를 Ag<sup>+</sup>-Na<sup>+</sup> 이온교환법을 이용하여 제작할 수 있음을 확인하였다.

### V. 결 론

본 논문에서는 기존의 비대칭형 Y-분리기가 가지는 단점을 개선하고자 출력 도파로의 한쪽 폭을 변화시켜 다양한 광파워 분리비를 갖는 비대칭형 Y-분리기를 BK7 유리에 Ag<sup>+</sup>-Na<sup>+</sup> 이온교환법을 이용하여 제작하였다. FD-BPM을 이용하여 한쪽 출력 도파로의 폭에 따라 다양한 출력 파워를 얻을 수 있는 비대칭형 Y-분리기의 도파특성을 살펴보았다. 그리고 이온교환에 의해 형성된 채널형 도파로의 굴절률 분포를 결정하고 채널형 도파로를 제작하여 도파로의 도파특성도 살펴보았다. 출력단의 한 쪽 도파로 폭을 변화시키면서 다양한 파워비의 비대칭형 Y-분리기를 제작하였다.

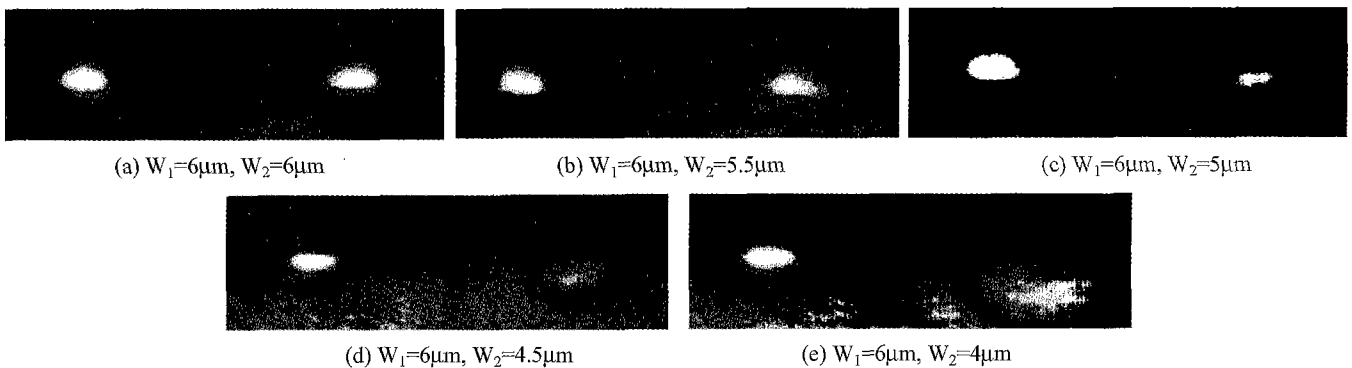


그림 12. 비대칭형 Y-분리기 출력 특성 (a)  $W_1=6 \mu\text{m}$ ,  $W_2=6 \mu\text{m}$  (b)  $W_1=6 \mu\text{m}$ ,  $W_2=5.5 \mu\text{m}$  (c)  $W_1=6 \mu\text{m}$ ,  $W_2=5 \mu\text{m}$  (d)  $W_1=6 \mu\text{m}$ ,  $W_2=4.5 \mu\text{m}$  (e)  $W_1=6 \mu\text{m}$ ,  $W_2=4 \mu\text{m}$ .

## 참고문헌

- [1] H. Sasaki, E. shiki, and N. Mikoshiba, "Normalized power transmission in single mode optical branching waveguides," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 17, no. 3, pp. 1051-1053, 1981.
- [2] K. Ogusu, "Transmission characteristics of single-mode asymmetric dielectric waveguide Y-junction," *Opt. Commun.*, vol. 3, no. 3, pp. 169-172, 1985.
- [3] K. Shirafuji and S. Kurazano, "Transmission characteristics of optical asymmetric Y junction with a gap region," *J. Lightwave Technol.*, vol. 9, no. 4, pp. 426-429, 1991.
- [4] W. Chang and H. B. Lin, "A novel low-loss wide-angle Y-branch with a diamond-like microprism," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 11, no. 6, pp. 683-685, 1999.
- [5] T. Findakly, "Glass waveguides by ion exchange : a review," *Opt. Eng.*, vol. 24, no. 2, pp. 244-248, 1985.
- [6] R. V. Ramaswamy and R. Srivastava, "Ion-exchange glass waveguides : a review," *J. Lightwave Technol.*, vol. 6, no. 6, pp. 984-1002, 1988.
- [7] S. I. Najafi, *Introduction to Glass Integrated Optics*, (Artech House, 1998).
- [8] M. L. Bibra and A. Roberts, "Refractive index reconstruction of graded-index buried channel waveguides from their mode intensities," *J. Lightwave Technol.*, vol. 15, no. 9, pp. 1695-1699, 1997.
- [9] J. Johansson, G. Djanta, and J. L. Coutaz, "Optical waveguides fabricated by ion exchange in high-index commercial glasses," *Appl. Opt.*, vol. 31, no. 15, pp. 2796-2799, 1992.
- [10] 전금수, 반재경, "Ag<sup>+</sup>-Na<sup>+</sup> 이온교환법을 이용한 BK7 유리 평판형 광도파로의 특성," 대한전자공학회논문지, vol. 35-D, no. 1, pp. 84-93, 1998.
- [11] A. N. Miliou, R. Srivastava, and R. V. Ramaswamy, "A 1.3  $\mu$ m directional coupler polarization splitter by ion exchange," *J. Lightwave Technol.*, vol. 11, no. 2, 1993.

### A design and fabrication of asymmetric Y-branch optical power splitters by Ag<sup>+</sup>-Na<sup>+</sup> ion exchange

Keum-Soo Jeon<sup>†</sup>, Dong-Sung Kang, Hee-Ju Kim, and Jae-Kyung Pan

Division of Electronics & Information Engineering, Chonbuk National University, Chonju 561-756, KOREA

<sup>†</sup>E-mail: keumsoo@netian.com

(Received April 6, 2001 ; Revised manuscript received July 5, 2001)

In this paper, we have fabricated asymmetric Y-branch optical power splitters with various optical power splitting ratios by changing the width of one of the output waveguides using Ag<sup>+</sup>-Na<sup>+</sup> ion change method in BK7 glass. The transmission characteristics of asymmetric Y-branch optical power splitters with different output waveguide width have been investigated using the finite-difference beam propagation method (FD-BPM). We have found the index of the channel waveguide formed by Ag<sup>+</sup>-Na<sup>+</sup> ion change method in BK7 glass and have fabricated channel waveguides to examine the transmission characteristics of channel waveguide. And we have fabricated asymmetric Y-branch optical power splitters with output waveguide width from 4  $\mu$ m to 6  $\mu$ m.

Classification code : OE.010.