

성형결합기 및 광도파로열 격자 파장 필터 손실특성 개선

박준오 · 정영철*

광운대학교 전자공학부/전자통신공학과

Ⓣ 139-701 서울특별시 노원구 월계동 447-1

백수현 · 이형중

(주)피피아이

Ⓣ 500-470 광주광역시 북구 대촌동 958-10

(2001년 3월 20일 받음, 2001년 11월 30일 수정본 받음)

기존의 성형결합기는 광파 자유전파영역에서 회절에 의해 전파되는 사실이 잘 알려져 있다. 본 논문에서는 손실을 줄이기 위하여 회절에 의한 광파의 전파가 아닌 UV-테이퍼 도파로에 의한 광파의 전파를 하는 새로운 개념의 성형결합기를 제안하였고, 이를 광도파로열 격자 파장 필터에 적용시켜 여러 가지 특성을 조사하였다. 새로운 개념의 저 손실 성형결합기 및 이를 이용한 광도파로열 격자 파장 필터는 기존의 성형결합기 및 광도파로열 격자 파장 필터와 같은 성능을 나타내면서도 손실의 작음을 확인하였다.

주제어 : diffraction, optical transmission system, integrated optics/waveguide.

I. 서 론

인터넷, 영상, 데이터등 멀티미디어 서비스에 대한 수요가 급증함에 따라 데이터 트래픽은 매년 2-3배 증가하고 있다. 이러한 대용량의 정보를 수요자에게 적시에 충족하고 미래 정보화 사회의 인프라 구축을 위해 전 세계적으로 고속 정보 통신망에 대한 투자가 진행중이며, 현재 초고속 정보 통신망 구축을 위한 광대역의 광전송 시스템 및 광통신망 수요가 급증하고 있다. 이러한 수요를 충족하기 위한 가장 유망한 기술중의 하나가 파장 분할 다중화 방식(WDM: Wavelength Division Multiplexing) 기술이다.

WDM 기술을 이용한 전광 네트워크(All Optical Network)를 실현하기 위해서는 여러 가지 소자들이 필수적으로 요구된다. 특히 성형결합기(Star Coupler)나 광도파로열 격자(AWG: Arrayed Waveguide Grating) 파장 필터는 여러 가지 역할을 할 수 있으므로 중요하다.^{1,2} 성형결합기, 광도파로열 격자 파장 필터는 Silica, InP, Polymer 등 여러 가지 물질로 만들 수 있다. 실리콘의 경우 크기는 크지만, 손실이 다른 물질에 비하여 손실이 매우 작다. InP인 경우에는 손실이 크지만 크기가 작고, Monolithic integration을 할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 광도파로열 격자 파장 필터는 일정한 삽입손실이 존재한다. 삽입손실은 물질의 고유 특성, bent waveguide, 모드 부정합(mode mismatch) 등에 의해 존재한다. 특히 삽입손실의 대부분을 차지하는 모드 부정합에 의한 천이손실(transition loss)은 성형결합기와 광도파로열 사이에서 발생하며, 이 손실을 줄이기 위하여 다양한 방법들이 연구되었다. 모

드 부정합에 의한 천이손실을 줄이기 위한 방법으로는 이중식각, 수직 테이퍼 도파로, 수평 테이퍼 적절화 기술 등이 있다.³⁻⁸

일반적인 성형결합기에서는 광파 자유전파영역(FPR: Free Propagation Region)에서 회절에 의해 분기된다. 본 논문에서는 자유전파영역과 출력 도파로사이에 UV-테이퍼 도파로를 삽입하여 모드 부정합에 의한 손실을 감소시키는 새로운 방법을 제안하였다. 또한 이 구조를 광도파로열 격자 파장필터에 적용시켰으며, 이들의 저손실 특성을 BPM(Beam Propagation Method)를 이용하여 확인하였다.

II. 저 손실 성형 결합기 및 광도파로열 격자 파장 필터의 설계

일반적인 성형결합기의 구성은 입력 도파로, 횡방향 구속 없이 회절에 의해 전달하는 자유 전파 영역, 출력 도파로로 구성된다. 성형 결합기는 한 개의 입력 도파로에서 나오는 신호를 여러개의 출력 도파로로 나누는 역할을 한다. 즉, 성형결합기는 N개의 입력도파로에서 들어온 광파를 M개의 출력 도파로로 광파를 분배시키는 역할을 한다.^{4,5} 기존의 성형결합기는 입력도파로에 입사한 광파가 자유 전파 영역에서 회절에 의하여 출력도파로로 출력되기 때문에 손실이 존재한다. 일반적인 성형결합기에서는 입사된 광파가 자유 전파 영역과 출력 도파로 경계에서 천이손실(transition loss)⁶이 발생하는 문제점을 갖고 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 자유 전파 영역에 자외선(UV: Ultraviolet)을 부분적으로 조사하여 천이손실(transition loss)을 감소시킬 수 있는 방법을 제안하였다. 본 논문에서는 테이퍼 도파로를 자외선 조사에 의한 것과 기존의

*E-mail: ychung@daisy.gwu.ac.kr

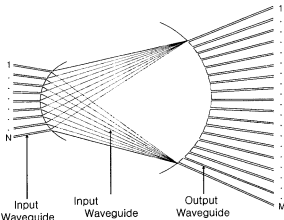


그림 1. 입력 UV-테이퍼 도파로를 이용한 저 손실 성형결합기의 개략도(광도파로열 격자 파장 필터에서는 출력 성형결합기로 사용).

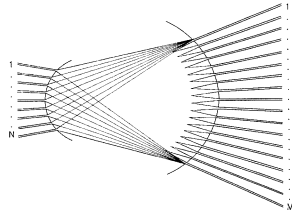


그림 2. 입력 및 출력 UV-테이퍼 도파로를 이용한 저 손실 성형결합기의 개략도(광도파로열 격자 파장 필터에서는 입력 성형결합기로 사용).

식각에 의한 것을 구분하기 위하여, 일반적으로 많이 사용되고 있는 테이퍼 도파로 삼입이 식각에 의한 것이기 때문에 식각-테이퍼 도파로 방법으로, 자외선 조사에 의하여 테이퍼 도파로를 형성하는 것을 UV-테이퍼 도파로라 부르기로 한다. 본 논문에서는 식각-테이퍼 도파로가 없는 성형결합기와 식각-테이퍼 도파로가 없이 UV-테이퍼 도파로만 존재하는 성형결합기의 손실을 비교한다. 그리고 식각-테이퍼 도파로가 있는 성형결합기와 식각-테이퍼 도파로와 UV-테이퍼 도파로가 동시에 존재하는 성형결합기의 손실을 비교한다.

그림 1은 자외선 조사에 의한 입력 UV-테이퍼 도파로를 이용한 $N \times M$ 성형결합기의 개략적인 그림이다. $N \times M$ 에서 N은 입력 도파로의 개수, M은 출력 도파로의 개수를 나타낸다.

또한 그림 2는 입력 및 출력 UV-테이퍼 도파로를 이용한 성형결합기의 개략적인 그림이다. 입력도파로에서 나온 광파는 입력 UV-테이퍼 도파로 및 출력 UV-테이퍼 도파로를 따라 횡방향으로 구속된 상태로 출력 도파로로 전달되게 된다. 그림 1에서 맨 위의 입력 도파로를 1, 맨 아래의 입력 도파로를 N이라고, 출력 도파로 부분도 마찬가지로 1부터 M까지로 표시한다. 입력 및 출력 UV-테이퍼 도파로를 설계하는 방법은 다음과 같다. 1번 입력 도파로와 성형결합기의 경계점, 1번 출력 도파로와 성형결합기의 경계점 및 M번 출력 도파로와 성형결합기의 경계점을 연결하는 호 형태를 자외선 레이저 조사영역으로 정한다. 2번, 3번, 4번, ..., N번 입력 도파로와 성형결합기의 경계점에서도 위와 비슷하게 자외선 레이저 조사영역(그림 1의 회색 영역)을 그림 1에 보인 바와 같이 정한다. 이와 같은 형태로 자외선 레이저를 조사시키면 광파가 입력 UV-테이퍼 도파로를 따라 도파되게 된다. 일반적인 성형결합기에서의 광파는 회절에 의하여 전파되지만, 입력 UV-테이퍼 도파로가 있는 경우에는 광파가 입력 UV-테이퍼 도파로를 따라 진행하기 때문에 손실이 줄어든다. 그러나 손실을 더욱 최소화하기 위하여 입력 UV-테이퍼 도파로 영역과 출력 도파로 사이에 그림 2와 같은 형태의 출력 UV-테이퍼 도파로를 삽입하는 구조를 제안하였다. 출력 UV-테이퍼 도파로 영역에

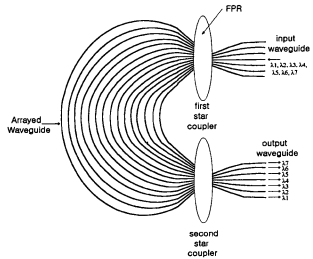


그림 3. 광도파로열 격자 파장 필터의 개략도.

는 자외선 조사를 하지만, 출력 UV-테이퍼 도파로 영역에 인접한 부분에는 자외선 조사를 하지 않는 영역을 둔다. 이와 같이 함으로써 입력 및 출력 UV-테이퍼 도파로를 이용한 성형결합기는 회절에 의한 일반적인 성형결합기보다 전이손실이 작아진다.

UV-테이퍼 도파로를 이용한 성형결합기에서 입력 및 출력 UV-테이퍼 도파로를 만드는 방법으로는 실리카 도파로 제작 공정후에 그림 2의 회색 부분만 UV로 조사시켜 테이퍼 도파로 영역의 굴절율을 증가시키는 방법이다.¹⁰⁻¹¹⁾

또한 성형결합기를 이용하는 광도파로열 격자 파장 필터의 개략적인 그림은 그림 3에 나타나 있다.

저 손실 광도파로열 격자 파장 필터를 설계하기 위해서는 그림 3의 첫 번째 성형결합기 대신에 그림 2에 나타나 있는 입력 및 출력 UV-테이퍼 도파로를 사용한다. 또한 두 번째 성형결합기 대신에 그림 1과 같은 형태의 입력 UV-테이퍼 도파로를 사용한다. 저 손실 광도파로열 격자 파장 필터의 첫 번째, 두 번째 성형결합기에 입력 및 출력 UV-테이퍼 도파로를 삽입하는 방식은 앞서 언급한 일반적인 성형결합기에 입력

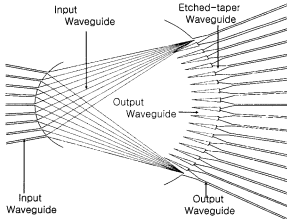


그림 4. 식각-테이퍼 도파로를 삽입한 경우에, 입력 및 출력 UV-테이퍼 도파로를 적용한 성형결합기.

및 출력 UV-테이퍼 도파로를 삽입하는 방식과 동일하다. 또한 일반적인 광도파로열 격자 파장 필터에서의 삽입 손실을 줄이기 위해서는 식각-테이퍼 도파로의 삽입하는 방법이 있다. 성형결합기에 식각-테이퍼 도파로와 입력 및 출력 UV-테이퍼 도파로를 함께 적용한 경우를 그림 4에 보였다.

III. 저 손실 성형 결합기 및 광도파로열 격자 파장 필터의 시뮬레이션

그림 2에 보인 저 손실 성형결합기를 표 1에 나타나 있는 파라미터를 가지고 FD-BPM(Finite Difference Beam Propagation Method)을 이용하여 시뮬레이션 하였다.^[12] 저 손실 성형결합기의 설계 변수는 표 1에 보였다.

또한 저 손실 성형결합기에 고려된 단위 도파로의 횡단면 구조는 그림 5와 같다.

표 1과 그림 5에서 나타낸 바와 같이 코어의 굴절율은 1.4565이고, 코어의 높이와 폭은 각각 6 μm 이며, 0.75%인 High- Δ 구조를 사용하였다. 실리카 도파로에 자외선을 조사하면 굴절율이 상승하는데, 본 논문의 시뮬레이션에 적용되어진 굴절율 상승은 0.001에서 0.004까지로 가정하였다.

성형결합기에서 광파의 투과특성은 UV-테이퍼와 식각-테이퍼 도파로의 유무에 대해서 살펴보고자 한다. 식각-테이퍼 도파로를 사용하지 않을 경우(그림 2)에, UV-테이퍼 도파로의 굴절율의 상승을 변화하면서 출력 UV-테이퍼 도파로의 길이

표 1. 성형결합기의 변수들

변 수	값
Refractive index of core	1.4565
Refractive index of cladding	1.4455
UV-taper refractive index	1.4575~1.4615
Length of free propagation region	2133 μm
Etched-taper width	17 μm
Core width	6 μm
Effective index	1.45389
Number of output waveguides	65

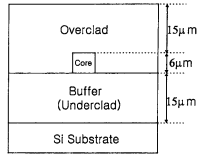


그림 5. 광도파로의 횡단면 구조.

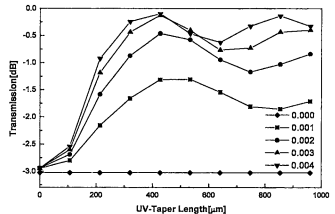


그림 6. 출력 UV-테이퍼 도파로의 길이 변화에 따른 투과 특성 (UV 조사에 의한 굴절율의 상승이 0.001, 0.002, 0.003, 0.004인 경우를 고려하였다).

에 대한 광파의 투과 특성을 조사해 보았고, 그 결과를 그림 6에 보였다. 그림 6에서 식각-테이퍼 도파로 및 UV-테이퍼 도파로를 사용하지 않은 성형결합기의 코어의 굴절율 상승은 0.000으로 표기되었으며 직선으로 표시되었다. 식각-테이퍼 도파로를 사용하지 않고, UV-테이퍼 도파로만을 사용한 경우, 자외선이 조사되어진 영역의 코어의 굴절율 상승폭은 0.001에서 0.004로 가정하였다.

성형결합기에서 광파의 투과특성은 출력 UV-테이퍼 도파로의 길이가 420 μm 일때 가장 큰 출력을 갖는 것을 알 수 있다. 식각-테이퍼 도파로가 존재하지 않는 성형결합기에서의 광파는 -3.02 dB의 손실을 갖는데 비해, 식각-테이퍼 도파로가 없이 UV-테이퍼 도파로만을 이용한 성형결합기인 경우는 -2.94 dB에서 -0.09 dB까지의 손실을 갖는다. 따라서 손실특성이 최대 2.9 dB 정도 향상됨을 알 수 있다.

일반적으로, 성형결합기에서 손실을 줄이기 위해 사용되어지는 식각-테이퍼 도파로를 이 경우에 적용시키면, 성형결합기에서의 광파의 투과특성은 그림 7과 같다. 식각-테이퍼 도파로만을 사용한 성형결합기인 경우에 코어의 굴절율 상승이 0.000이므로 그림 7에서와 같이 직선으로 나타내어진다. 이때 사용되어진 식각-테이퍼 도파로폭은 17 μm 이며, 길이는 500 μm 이다.

식각-테이퍼 도파로와 UV-테이퍼 도파로가 동시에 존재하는 성형결합기인 경우(그림 4), 광파의 전달은 출력 UV-테이퍼

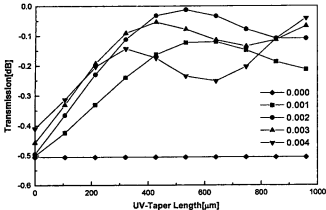


그림 7. 식각-테이퍼 도파로를 삽입했을 경우, 출력 UV-테이퍼 도파로의 길이 변화에 따른 투과 특성(UV 조사에 의한 굴절률의 상승이 0.001, 0.002, 0.003, 0.004인 경우를 고려하였다).

도파로의 길이가 520 μm일때 가장 큰 출력을 갖는다. 식각-테이퍼 도파로만 존재하는 성형결합기에서는 -0.5 dB의 손실을 갖는데 비하여 식각-테이퍼 도파로와 UV-테이퍼 도파로가 동시에 존재하는 성형결합기에서는 -0.43 dB에서 -0.01 dB까지의 손실을 갖는다. 따라서 손실특성이 최대 0.49dB 향상됨을 알 수 있으며, 식각-테이퍼 도파로와 UV-테이퍼 도파로를 통

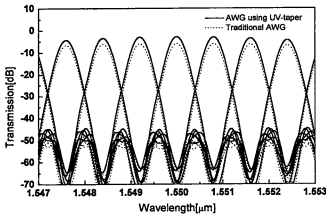


그림 8. 일반적인 광도파로열 격자 파장 필터(점선)와 UV-테이퍼 도파로를 이용한 광도파로열 격자 파장 필터(실선)의 투과 특성.

표 2. 광도파로열 격자 파장 필터의 변수

변수	값
Channel spacing	0.8 nm
FSR (Free Spectral Range)	5.6 nm
Focal length	2133 μm
Refractive index of core	1.4565
Refractive index of cladding	1.4455
UV-taper refractive index	1.4575
Etched-taper width	17 μm
Number of arrayed waveguide	65
Effective index	1.45389
Reference refractive index	1.45

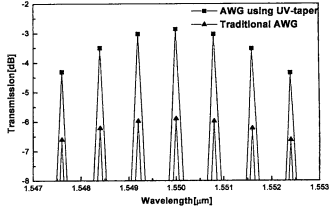


그림 9. 일반적인 광도파로열 격자 파장 필터(▲)와 UV-테이퍼 도파로를 이용한 광도파로열 격자 파장 필터(■)의 삽입손실 비교.

시에 이용할 경우에 손실특성이 개선됨을 알 수 있다.

앞서 보인 저손실 성형결합기를 광도파로열 격자 파장 필터에 적용시켰다. 저 손실 광도파로열 격자 파장 필터의 설계 변수는 표 2에 보였다. UV를 조사한 영역(그림 2의 회색부분)의 굴절률 증가는 0.001로 가정하였다. 그림 8은 식각-테이퍼 도파로 및 UV-테이퍼 도파로가 없는 광도파로열 격자 파장 필터의 특성곡선과 UV-테이퍼 도파로만 존재하는 성형결합기(그림 2)를 적용한 광도파로열 격자 파장 필터의 특성곡선을 겹쳐서 나타내었다. 광도파로열 격자 파장 필터의 모든 성능이 유사함을 알 수 있다. 삽입손실을 자세히 비교하기 위하여 그림 8의 상부를 그림 9에 나타내었다. 식각-테이퍼 도파로와 UV-테이퍼 도파로가 존재하지 않는 광도파로열 격자 파장 필터의 삽입손실은 -5.89—6.74 dB이지만, 식각-테이퍼 도파로가 없이 UV-테이퍼 도파로만을 이용한 광도파로열 격자 파장 필터의 삽입손실은 -2.86—4.45 dB이다. UV-테이퍼 도파로만을 이용한 광도파로열 격자 파장 필터의 삽입손실이 최고 3 dB까지 개선되었다.

한편, 식각-테이퍼 도파로만을 이용한 광도파로열 격자 파장

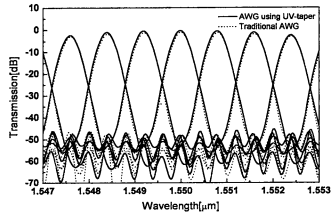


그림 10. 식각-테이퍼 도파로를 삽입했을 경우, 일반적인 광도파로열 격자 파장 필터(점선)와 UV-테이퍼 도파로를 이용한 광도파로열 격자 파장 필터(실선)의 투과 특성.

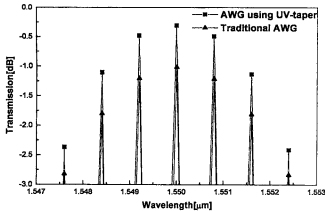


그림 11. 식각-테이퍼 도파로를 삽입했을 경우, 일반적인 광도파로열 격자 파장 필터(▲)와 UV-테이퍼 도파로를 이용한 광도파로열 격자 파장 필터(■)의 삽입손실 비교.

표 3. 성형결합기의 손실 특성

	일반적인 성형결합기	UV-테이퍼도파로를 이용한 성형결합기
식각-테이퍼를 사용하지 않은 경우	-3.02 dB	-2.94~-0.09 dB
식각-테이퍼를 사용한 경우	-0.5 dB	-0.43~-0.01 dB

표 4. 광도파로열 격자 파장 필터의 삽입손실 특성

	일반적인 광도파로열 격자 파장 필터	UV-테이퍼도파로를 이용한 광도파로열 격자 파장 필터
식각-테이퍼를 사용하지 않은 경우	-6.74~-5.89 dB	-4.45~-2.86 dB
식각-테이퍼를 사용한 경우	-2.97~-1.02 dB	-2.43~-0.31 dB

필터와 식각-테이퍼 도파로 및 UV-테이퍼 도파로를 동시에 이용한 광도파로열 격자 파장 필터의 특성곡선을 그림 10과 그림 11에서 비교하였다. 이때 사용되어진 식각-테이퍼 도파로의 너비 및 길이는 각각 17 μm 및 500 μm이다.

식각-테이퍼 도파로만을 이용한 광도파로열 격자 파장 필터의 삽입 손실은 -1.02 dB에서 -2.97 dB인데 반해 식각-테이퍼 도파로 및 UV-테이퍼 도파로를 동시에 이용한 광도파로열 격자 파장 필터의 삽입손실은 -0.31~-2.43 dB이다. 따라서 UV-테이퍼 도파로를 이용함으로써 광도파로열 격자 파장 필터의 삽입손실을 최고 0.7 dB까지 개선 되었다.

IV. 결 론

WDM 전광네트워크를 구성하는 데 핵심적인 소자인 성형결합기와 이를 이용한 광도파로열 격자 파장 필터의 손실 특성에 관해서 연구하였다.

일반적인 성형결합기의 회절에 의한 전파가 아닌 입력 및 출력 UV-테이퍼 도파로를 이용한 저 손실 성형결합기를 제안

하였고, 시뮬레이션을 통하여 이를 입증하였다. 또한 저 손실 성형결합기를 광도파로열 격자 파장 필터에 적용시켜 광 동작함을 보였고, 삽입 손실이 작게 나타남을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

표 3, 4에서 보인바와 같이 UV-테이퍼 도파로를 이용한 성형결합기와 광도파로열 격자 파장필터의 손실이 개선됨을 보였다.

본 논문은 새로운 개념의 저 손실 성형결합기와 이를 이용한 광도파로열 격자 파장 필터를 제안하였고 이를 BPM을 통하여 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 2001년도 광운대학교 교내학술연구비 및 산업자 원부 중기저점 과제(PPI 위탁연구)사업비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- [1] K. Okamoto, M. Okuno, A. Himeno, and Y. Ohmori, "16-channel optical add/drop multiplexer consisting of arrayed-waveguide gratings and double-gate switches," *Electron. Lett.*, vol. 32, no. 16, pp. 1471-1472, 1996.
- [2] H. Takahashi, S. Suzuki, K. Kato, and I. Nishi, "Arrayed-waveguide grating for wavelength division multi/demultiplexer with nanometer resolution," *Electron. Lett.*, vol. 26, no. 2, pp. 87-88, 1990.
- [3] C. Dragone, "An N×N optical multiplexer using a planar arrangement of two star couplers," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 3, no. 9, pp. 812-815, 1991.
- [4] M. K. Smit, "New focusing and dispersive planar component based on an optical phase array," *Electron. Lett.*, vol. 24, no. 7, pp. 385-386, 1988.
- [5] M. K. Smit and C. van Dam, "PHASAR-based WDM-devices : principles, design and applications," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 2, no. 2, pp. 236-250, 1996.
- [6] C. van Dam, A. A. M. Staring, E. J. Jansen, J. J. M. Binsma, T. van Dongen, M. K. Smit, and B. H. Verbeek, "Loss reduction for phased-array demultiplexers using a double etch technique," *Integrated Photonics Research 1996*, Boston, MA, pp. 52-55, Apr. 29 - May 2, 1996.
- [7] A. Sugita, A. Kaneko, K. Okamoto, M. Itoh, A. Himeno, and Y. Ohmori, "Very low insertion loss arrayed-waveguide grating with vertically tapered waveguides," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 12, no. 9, pp. 1180-1182, 2000.
- [8] J. C. Chen and C. Dragone, "A proposed design for ultralow-loss waveguide grating routers," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 10, no. 3, pp. 379-381, 1998.
- [9] G. D. Maxwell and B. J. Ainslie, "Demonstration of a directly written directional coupler using UV-induced photosensitivity in a planar silica waveguide," *Electron. Lett.*, vol. 31, no. 2, pp. 95-96, 1995.
- [10] M. Svalgaard, C. V. Pooulsen, A. Bjarklev, and O. Poulsen, "Direct UV writing of buried singlemode channel waveguides in Ge-doped silica films," *Electron. Lett.*, vol.

30, no. 17, pp. 1401-1403, 1994.

- [11] C. V. Poulsen, M. Svalgaard, and O. Poulsen, "Photosensitivity in germania-doped silica films" *CLEO'94, CMM5*, p. 45, 1994.

- [12] Y. Chung and N. Dagli, "An assessment of finite difference beam propagation method," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 26, no. 8, pp. 1335-1339, 1990.

Loss improvement of star couplers and arrayed waveguide grating wavelength filter

Joonoh Park and Youngchul Chung[†]

Dept. of Electronic Communications Eng., Kwangwoon University, Seoul 139-701, KOREA

[†]*E-mail: ychung@daisy.gwu.ac.kr*

Soohyun Baek and Hyungjong Lee

Photonics Planar Integration Inc., Kwangju 500-470, KOREA

(Received March 20, 2001 ; revised manuscript received November 30, 2001)

In the conventional star coupler, a certain amount of loss should be expected because lateral diffraction is used for the power distribution. In this paper, we propose a new design of a low loss star coupler which employs UV-written tapered waveguides and an AWG based on the low loss star couplers, and investigate their various characteristics. The loss of the UV-written star coupler is lower than that of the conventional star coupler, and the AWG device based on the UV-written star couplers shows low loss characteristics.

Classification codes : DI.010, OC.010, OE.010.