

논문 2004-41SD-12-7

좌우 트렌치를 구비한 분리 주기 테이퍼 도파로 모드 크기 변환기의 설계 및 성능 분석

(Design and analysis of a mode size converter composed of periodically segmented taper waveguide surrounded by trenches)

박 보 근*, 정 영 철*

(Bo Geun Park and Young Chul Chung)

요 약

본 논문에서는 슈퍼하이델타(Super High Delta) 실리카 광도파로와 단일 모드 광섬유 사이의 결합손실을 줄이기 위한 모드 크기 변환기를 설계 하였다. 새로운 모드 크기 변환기는 물리적 크기를 최소화 하기위해 주기적으로 분리된 테이퍼 도파로를 사용 하였으며 공정을 간단히 하기 위해 수평형 테이퍼를 사용하였다 또한 결합손실을 개선하기 위해 모드 크기 변환기 주변에 트렌치 구조를 삽입하였다. 최적의 모드 크기 변환기 설계에서 결합손실은 트렌치 구조가 삽입되지 않은 경우는 0.33dB/point 이며 트렌치가 삽입된 경우는 0.2dB/point이다.

Abstract

In this paper, we have designed a mode size converter to reduce coupling loss between super-high delta silica optical waveguides and single mode fibers. The new mode size converter has three design aspects; periodically segmented taper waveguide for minimal size, lateral taper waveguide for simple fabrication, and surrounding trenches to improve coupling loss. In the optimal mode size converter design, coupling loss is 0.33dB/point without trenches and 0.2dB/point with trenches.

Keywords : mode size converter, periodically segmented waveguide, tapered waveguide, lateral taper, trenches

I. 서 론

광집적회로에 있어서 소자의 물리적 크기를 감소하기 위해서는 광도파로의 코어와 클래딩 사이의 굴절률 차이를 높게 하는 방향으로 소자 개발되고 있으며, 이와 같은 도파로의 모드는 광통신망에 사용되는 단일 모드 광섬유와의 모드 불일치 문제를 가지게 된다. 본 논문은 이러한 모드 불일치 문제를 해결할 수 있는 모드 크기 변환기의 설계와 성능 향상을 위한 제안 및 분석에 관하여 논하였다.

모드 크기 변환기의 기술적 적용은 여러 방면으로 시

도되어 왔다. 그 중에서도 마이크로 렌즈, 테이퍼 광섬유, 렌즈화 광섬유 등의 방법이 있다^{[1],[2]}.

마이크로 렌즈를 이용한 모드 변환 기술은 광도파로와 광섬유 사이에 마이크로렌즈 혹은 볼렌즈(Ball Lens)를 삽입하여 모드를 변환하는 형태로 구성이 간단한 특징을 가지지만 렌즈가 가지는 광손실(통상적인 렌즈의 경우 약 2.5dB에서 3dB정도의 결합손실을 가짐)이 존재하고 미세한 정렬을 하기 위해서는 X-축, Y-축, Z-축 그리고 θ -축의 정렬을 해야 하므로 정렬에 있어 많은 시간과 초기 광축 정렬이 중요한 요건으로 나타나고 있다.

테이퍼 광섬유를 이용한 모드 변환 기술은 광섬유의 직경이 줄어드는 테이퍼 형태로 제작한 후 광도파로에 직접적으로 연결하는 방법을 취하고 있다. 테이퍼 광섬

* 정희원, 광운대학교 전자통신공학과
(Department Electronis and Communications Eng.,
Kwangwoon University)
접수일자: 2004년7월20일, 수정완료일: 2004년12월4일

유는 렌즈에서 발생하는 광손실이 존재하지 않아 낮은 손실을 낼 수 있으며 테이퍼 광섬유와 광도파로간의 정렬에 있어서도 직접 연결하기 때문에 정렬하기가 용이하다. 하지만 광섬유를 테이퍼화 하는 공정과 특정한 직경을 가지도록 종단을 처리하는 과정에 있어 어려움을 나타낸다.

렌즈화 광섬유는 광섬유 끝단을 렌즈화 하는 형태로 하여 광파를 콜리메이팅(Collimating)하는 방법이다. 이 경우 역시 테이퍼 광섬유와 유사한 특징을 가지게 된다. 하지만 이 경우 렌즈를 이용한 모드 변환 기술처럼 미세한 정렬을 해야 하는 문제를 가지고 있다.

결국 상기 제기한 모드 변환 기술은 정렬 공차(Alignment Tolerance)가 매우 작거나 제작 공정상의 문제가 존재하여 많은 시간과 비용이 수반되는 문제가 있다. 이러한 문제는 패키징 가격을 상승하는 원인이 되며 이를 줄일 수 있는 방법으로 모드 크기 변환기를 실리콘 기판 위에 집적하여 제작하는 테이퍼 광도파로에 대한 연구가 다각도에서 접근되어지고 있다.

집적화된 실리콘 기판 위에 제작하는 모드 크기 변환기는 테이퍼 형성에 있어 수평형 테이퍼 구조, 수직형 테이퍼 구조, 그리고 수직-수평형 테이퍼 구조로 나누어진다^[3]. 수평형 테이퍼 광도파로 모드 크기 변환기는 수평방향으로 형성된 테이퍼를 이용하는 기술로 광도파로의 폭이 확장되는 형태를 가지고 있다. 이러한 경우 작은 크기의 원형 모드가 광도파로에서 모드 크기 변환기를 통과 한 후 큰 크기의 타원 모드로 모드 크기가 변화함을 알 수 있다. 하지만 광섬유의 원형 모드와의 중첩(Overlap)을 볼 때 큰 결합손실이 발생한다. 이는 광섬유와의 접속면에서의 폭의 길이가 $11\mu\text{m}$ 이고 테이퍼 영역의 길이가 약 $2000\mu\text{m}$ 일 때 약 $1.1\text{dB}/\text{point}$ 정도의 결합손실을 나타내는 것으로 보고되고 있다. 또한 광도파로의 폭이 감소하는 형태의 축소형 모드 크기 변환기는 길이가 $2300\mu\text{m}$ 이고 광섬유와의 접속면에서의 폭의 길이가 $1.2\mu\text{m}$ 일 때 약 $0.3\text{dB}/\text{point}$ 의 값을 나타내고 있지만 이는 종단의 절단 허용 공차가 작다는 단점을 가지고 있다.

수직형 테이퍼 테이퍼화 광도파로는 수평형 테이퍼 모드 변화기와 같은 특징을 보이고 있으나 제작 과정에 있어 2차원적인 반도체 공정으로는 제작하기 힘든 문제를 가지고 있어 공정 과정이 복잡하다는 단점을 가지고 있다. 이것은 결국 공정상의 재현성 문제를 발생하게 한다.

수직-수평형 테이퍼 광도파로 모드 크기 변환기는

테이퍼가 수직 수평으로 동시에 광섬유로 확장되는 형태로 모드는 수평형 확장 테이퍼나 수직형 확장 테이퍼 형태처럼 타원형 모드와 달리 원형 모드를 나타내며 광섬유의 모드와 중첩에서 낮은 결합손실을 보인다. 수직-수평형 모드 크기 변환기는 광섬유와의 접속면에서의 폭과 높이가 $11\mu\text{m}$ 이고 테이퍼의 길이가 $2000\mu\text{m}$ 일 때 결합손실이 약 $0.2\text{dB}/\text{point}$ 정도로 세 가지 유형 중 가장 손실이 낮은 구조지만 수직 테이퍼 공정이 매우 복잡하고 재현성에 관련된 문제를 가지고 있다^[4].

상기 각각의 구조의 테이퍼화 광도파로 모드 크기 변환기의 길이는 약 $2000\mu\text{m}$ 정도를 가지고 있으며 모드 변환에 있어 수직 테이퍼 제작 공정을 필요로 하는 수직-수평형 테이퍼화 광도파로 모드 크기 변환기만이 가장 적절한 성능을 보이고 있다.

모드 크기 변환기는 여러 가지 광집적회로에서 응용이 가능하고, 삽입 위치가 용이해야 하며, 그 크기가 작아야 한다^[5]. 이러한 요소를 만족하기 위하여 본 연구에서는 공정이 용이한 수평형 테이퍼 모드 크기 변환기에 삽입 위치가 용이하고 물리적 크기를 줄일 수 있는 주기적으로 분리된 모드 크기 변환기를 삽입하여 설계하였다. 또한 종단에서의 절단 공차를 확대하기 하여 일정한 폭을 가지는 분리된 도파로를 삽입 허용 공차를 확대하였으며 주기적으로 분리된 모드 크기 변환기 주변에 식각 공정으로 제작할 수 있는 트렌치 구조의 공기층을 형성하여 분리된 구간에서의 방사 손실을 줄일 수 있도록 설계하였다. 또한 통상적인 광도파로 제작공정으로 실현 가능하도록 하기 위하여 분리된 광도파로의 간격은 $0.25\mu\text{m}$ 이상의 길이를 가지도록 설계하였다.

II. 주기적으로 분리된 테이퍼 광도파로의 설계 및 특성 분석

주기적으로 분리된 테이퍼 광도파로로 구성된 모드 크기 변환기를 구성하는 요소 중 그림 1에 주기적으로 분리된 광도파로를 나타내었으며 이 때 등가 상대굴절률차이는 $\Delta n_{\text{eq}} = \eta \cdot \Delta n$ 와 같은 식에 의하여 근사 된다. 여기서 Δn_{eq} 는 등가 상대굴절률차이이고 Δn 은 분리되지 않은 광도파로의 상대굴절률차이이며 η 는 듀티 싸이클(Duty Cycle)이다. 듀티 싸이클은 분리된 광도파로의 간격을 결정하는 기준이 되며 $\eta = (\Lambda - L_{\text{Gap}}) / \Lambda$ 와 같다. 여기서 L_{Gap} 는 분리된 간격을 나타내며, Λ 는 분리 주기를 나타낸다^[6].

본 연구에서는 광도파로 재료로 실리카 광도파로의

경우를 고려하였다. 실리카 광도파로는 전파 손실을 작 으며, 광섬유와 광도파로에서 안정적인 특성이 입증되 고 있다^{[7],[8]}. 광도파로는 폭과 높이가 $3\mu\text{m}$ 이며 상대 굴 절률 차이는 $\Delta=1.5\%$ 인 슈퍼하이델타 구조로 설계하였 다. $\Delta=1.5\%$ 인 슈퍼하이델타 구조의 광도파로와 광섬 유 사이에 모드 크기 변환기 없이 직접 접속될 경우 결 합손실은 약 1.6dB/point이다.

주기적으로 분리된 테이퍼 광도파로의 개략도를 그 림 2에 나타내었다. 그림 2에 보는 것과 같이 주기적으 로 분리된 광도파로는 광도파로 폭이 점차적으로 줄어 드는 테이퍼 구조로 설계 하였으며 설계된 모드 크기 변환기는 입출력 영역(I/O Section)과 테이퍼 영역 (Taper Section)의 두 부분으로 나누어지며 그 양단에는 광도파로와 광섬유를 접속하였고 테이퍼 영역에서의 광도파로 폭은 광섬유와 접속되는 부분으로 광도파로의 폭이 점점 줄어드는 형태를 가지고 있다. 입출력 영역 은 광섬유와 접속하기 위한 영역으로 일정한 폭과 주기를 가지고 있으며 공정 후 연마를 위한 부분으로 길이는 약 $200\mu\text{m}$ 로 설계하였다.

테이퍼 영역의 길이는 $100\mu\text{m}$ 에서 $1000\mu\text{m}$ 까지 변화를 주어 설계 하였으며, 분리된 광도파로의 주기는 $5\mu\text{m}$ 와 $10\mu\text{m}$

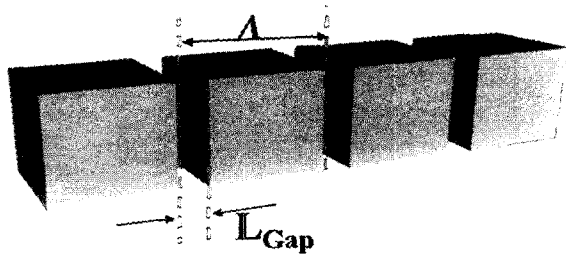


그림 1. 주기적으로 분리된 광도파로의 개략도
Fig. 1. Schematic of periodically segmented waveguide.

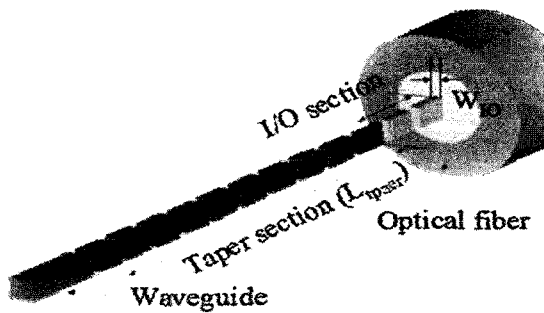
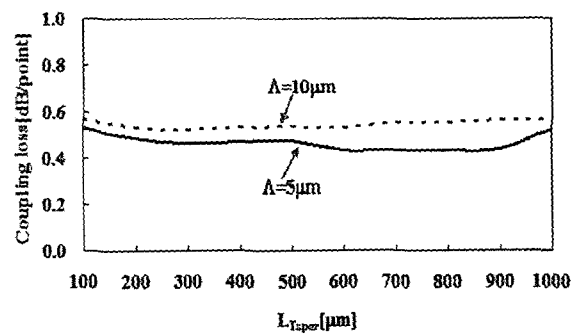


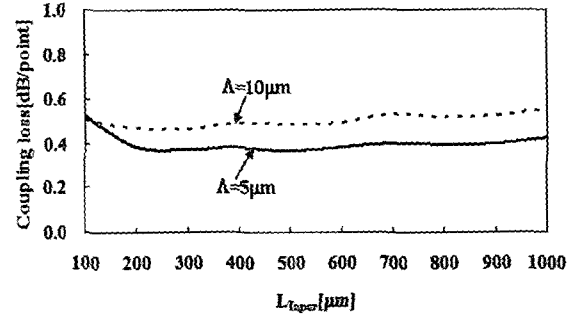
그림 2. 주기적으로 분리된 테이퍼로 구성된 모드 크기 변환기의 개략도
Fig. 2. Schematic of the mode size converter composed of periodically segmented taper waveguide.

μm 를 사용하였으며 분리된 광도파로 간의 간격은 $0.25\mu\text{m}$ 보다 크게 설계하였다. 광섬유와 모드 크기 변환기의 접 속면에서의 폭은 $0.5\mu\text{m}$ 에서 $2.5\mu\text{m}$ 까지 변화를 주어 설계 하였으며 삼차원 BPM(Beam Propagation Method)을 이 용하여 해석 하였으며 분리된 도파로 간의 반사 손실을 측정하기 위하여 쌍방향 BPM을 사용했다^[9].

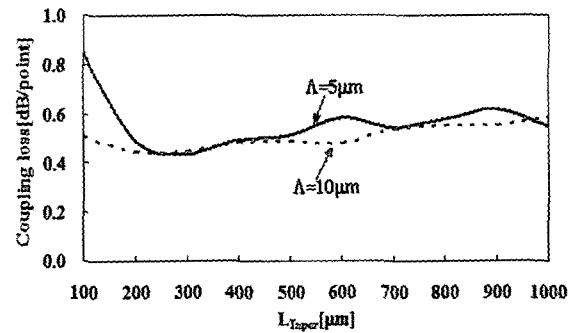
그림 3은 주기적으로 분리된 테이퍼 광도파로의 광 섬유와의 접속면에서의 폭이 $1.5\mu\text{m}$ 일 때 주기가 각각 $5\mu\text{m}$ 와 $10\mu\text{m}$ 인 경우 테이퍼 영역의 길이에 따른 결합손실



(a)



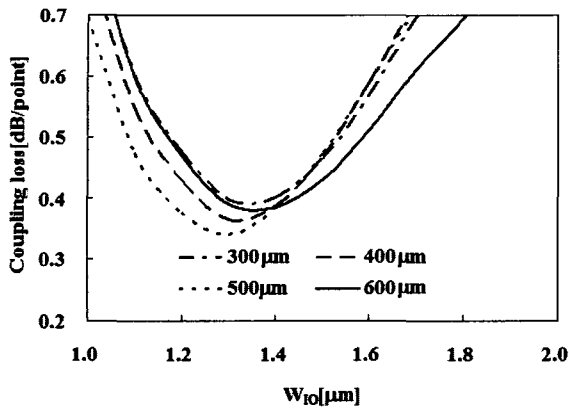
(b)



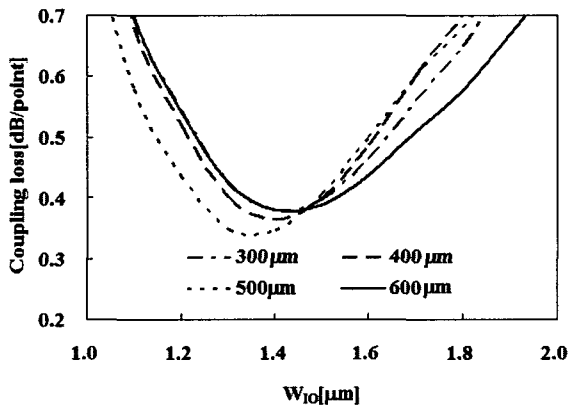
(c)

그림 3. 테이퍼 영역의 길이에 따른 결합손실의 변화 ($W_{IO}=1.5\mu\text{m}$) (a) $L_{Gap}=0.25\mu\text{m}$ (b) $L_{Gap}=1\mu\text{m}$ (c) $L_{Gap}=1.75\mu\text{m}$

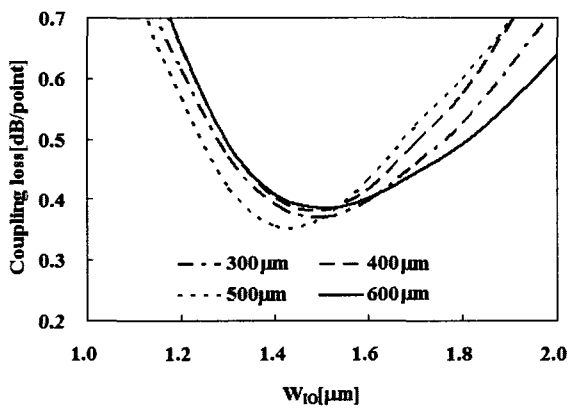
Fig. 3. Variation of coupling loss as a function of L_{Taper} ($W_{IO}=1.5\mu\text{m}$) (a) $L_{Gap}=0.25\mu\text{m}$ (b) $L_{Gap}=1\mu\text{m}$ (c) $L_{Gap}=1.75\mu\text{m}$.



(a)



(b)



(c)

그림 4. 광섬유와 모드 크기 변환기의 접속면에서의 폭에 따른 결합손실(각각의 테이퍼 길이는 300 μm , 400 μm , 500 μm , 600 μm 으로 설정) (a) $L_{\text{Gap}}=0.25\mu\text{m}$ (b) $L_{\text{Gap}}=0.5\mu\text{m}$ (c) $L_{\text{Gap}}=0.75\mu\text{m}$

Fig. 4. Coupling loss as a function of W_{10} (Each of the taper length is set to be 300 μm , 400 μm , 500 μm , and 600 μm) (a) $L_{\text{Gap}}=0.25\mu\text{m}$ (b) $L_{\text{Gap}}=0.5\mu\text{m}$ (c) $L_{\text{Gap}}=0.75\mu\text{m}$.

의 변화를 나타내었다. 그림 3(a)는 분리된 간격이 0.25 μm , 그림 3(b)는 분리된 간격이 1 μm 인 경우를 각각 나타내었으며, 그림 3(c)는 분리된 간격이 1.75 μm 일 때의 결합손실을 나타내었다. 각 그림에서 알 수 있듯 주기가 5 μm 인 경우가 전반적으로 낮은 결합손실을 나타내고 분리된 간격이 1 μm 이하인 경우에서 테이퍼 길이에 따른 변화가 안정적으로 나타남을 알 수 있다.

분리된 도파로의 주기를 5 μm 로 고정하고 분리 간격이 0.25 μm , 0.5 μm , 0.75 μm 인 경우에 대하여 광도파로의 접속면에서의 폭을 1 μm 에서 2 μm 로 변화시키면서 광 결합손실을 계산하였다. 여기서 모드 크기 변환기의 테이퍼 길이는 300 μm , 400 μm , 500 μm , 600 μm 인 경우를 고려하였다. 이 계산 결과를 그림 4에 나타내었다.

분리 간격이 0.25 μm 이며 최소의 결합손실은 테이퍼 영역의 길이가 500 μm 이고, 광섬유 접속면에서의 도파로 폭이 약 1.30 μm 일 때 0.33dB/point를 나타내었다. 분리 간격이 0.50 μm 일 때는 최소의 결합손실은 테이퍼 영역의 길이가 500 μm 이고 광섬유 접속면에서의 도파로 폭이 약 1.35 μm 일 때 0.34dB/point를 나타내었다. 분리 간격이 0.75 μm 일 때 최소의 결합손실은 테이퍼 영역의 길이가 500 μm 이고 광섬유 접속면에서의 도파로 폭이 약 1.41 μm 일 때 0.37dB/point를 나타내었다. 각 분리간격에서 테이퍼 길이가 300 μm 에서 500 μm 까지 증가할수록 최소 결합손실은 점차적으로 줄어들지만 테이퍼 영역의 길이가 600 μm 일 때는 최소 결합손실이 증가함을 알 수 있으며 테이퍼 영역의 길이는 500 μm 로 정하는 것이 가장 적절하다.

III. 트렌치가 구조가 추가된 주기적으로 분리된 테이퍼 도파로 모드 크기 변환기의 설계 및 특성 분석

주기적으로 분리된 테이퍼 도파로를 이용한 모드 크기 변환기는 테이퍼 길이가 500 μm , 광섬유 접속면에서의 도파로 폭이 1.30 μm 인 경우, 가장 낮은 결합손실이 약 0.33dB/point로 나타남을 알 수 있다. 하지만 이는 수직-수평형 모드 크기 변환기에 비해 높은 결합손실 값으로서, 이를 추가적으로 개선하기 위하여 주기적으로 분리된 테이퍼 도파로 양단에 간단한 식각 공정으로 제작 할 수 있는 트렌치 구조를 부가한 구조를 제안하였다. 그림 6은 트렌치 구조가 부가된 모드 크기 변환기의 개략도이다. 즉, 주기적으로 분리된 모드 크기 변환기의 양단에 공기층으로 형성되는 트렌치를 부가하여

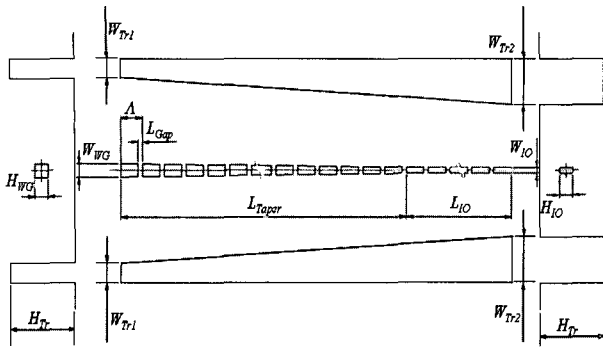


그림 5. 트렌치 구조가 삽입된 모드 크기 변환기의 개략도
 Fig. 5. Schematic of mode size converter surrounded by trenches.

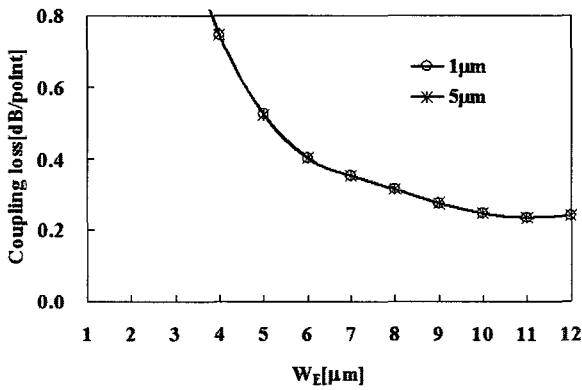
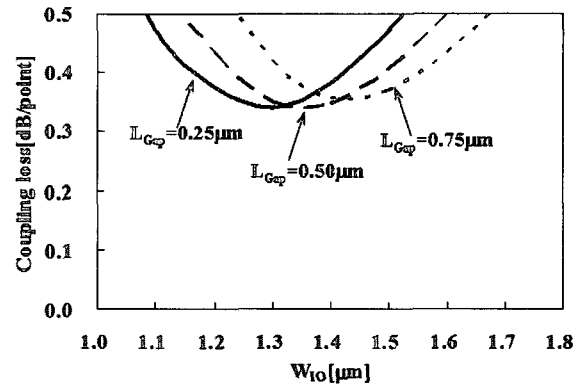


그림 6. 주기적으로 분리된 테이퍼 도파로와 트렌치간의 간격에 따른 결합손실(각각의 트렌치 폭은 1 μm와 5 μm으로 설정)
 Fig. 6. Coupling loss as a function of W_E (Each of the $W_{T1}=W_{T2}$ is set to be 1 μm and 5 μm).

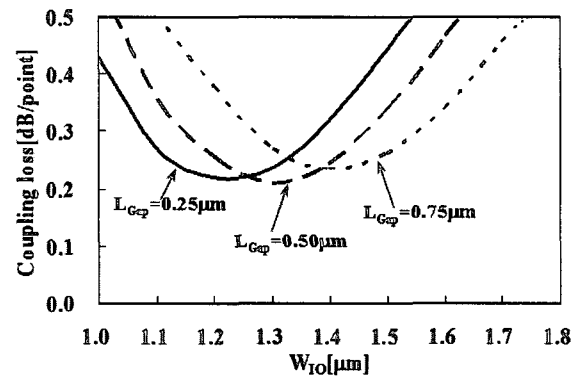
분리된 영역에서 방출되는 광파의 손실을 줄이도록 하였다.

그림 6에 직선 트렌치($W_{T1}=W_{T2}$)의 폭과 주기적으로 분리된 테이퍼 도파로와 트렌치간의 간격에 따른 결합손실의 변화를 나타내었다 그림 6에서 볼 수 있듯 직선 트렌치의 폭이 1 μm와 5 μm일 때 거의 유사한 결합손실을 나타냄을 알 수 있다. 또한 분리된 테이퍼 도파로와 트렌치간의 간격(W_E)이 약 11 μm일 때 가장 작은 결합손실을 나타내고 있음을 알 수 있다.

그림 7에 테이퍼 영역의 길이가 500 μm일 때 트렌치가 부가된 경우와 부가되지 않는 경우에 관한 결합손실의 비교하여 나타내었다. 그림 7(a)에 트렌치가 부가되지 않은 경우의 분리된 도파로간의 간격, 광섬유 접속면에서의 도파로 폭에 따른 결합손실을 나타내었으며 그림 7(b)에는 트렌치가 부가된 경우의 결과를 나타내었다 (이 때 테이퍼의 길이는 500 μm, 주기는 5 μm, 트렌치의



(a)



(b)

그림 7. 광섬유와 모드 크기 변환기의 접속면에서의 폭에 따른 결합손실($L_{taper}=500 \mu m$) (a) 트렌치가 삽입되지 않은 경우 (b) 트렌치가 삽입된 경우
 Fig. 7. Coupling loss as a function of W_{IO} ($L_{taper}=500 \mu m$) (a) No trenches (b) Trenches inserted.

높이는 33 μm, 트렌치의 폭 10 μm, 분리된 테이퍼 도파로와 트렌치 간의 간격이 11 μm임). 트렌치가 부가됐을 때는 트렌치가 부가되지 않은 경우에 비해 개선된 0.22dB/point의 결합손실을 나타내었다. 이는 수직-수평형 테이퍼 도파로를 이용한 모드 크기 변환기에 근접하는 결과이다. 즉 복잡한 수직 테이퍼 공정이 없이도 분리 주기 수평 테이퍼만으로 수직-수평 테이퍼 도파로와 비슷한 성능을 얻을 수 있으므로 공정의 단순화 등을 통하여 수율을 향상 할 수 있는 가능성을 보이고 있다

그림 5의 개략도에서 광도파로 측 트렌치의 폭(W_{T1})을 5 μm로 하고 테이퍼 도파로와 트렌치의 간격, 광섬유와의 접속면에서의 트렌치의 폭(W_{T2})에 따른 결합손실을 계산하여 그림 8에 보였다. 그림 8에서 알 수 있듯이 결합손실은 광섬유 접속면에서의 트렌치의 폭이 증가할수록 감소함을 알 수 있다. 이는 직선 트렌치보다 향상된 결합손실을 보이고 있으며 광섬유와의 접속면에서

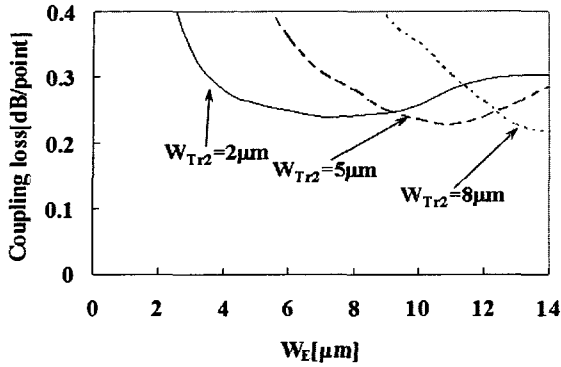


그림 8. 주기적으로 분리된 테이퍼 도파로와 트렌치의 간격과 W_{Tr2}에 따른 결합손실(W_{Tr1}=5 μm)
 Fig. 8. Coupling loss as function of W_{Tr2} and WE(W_{Tr1}=5 μm).

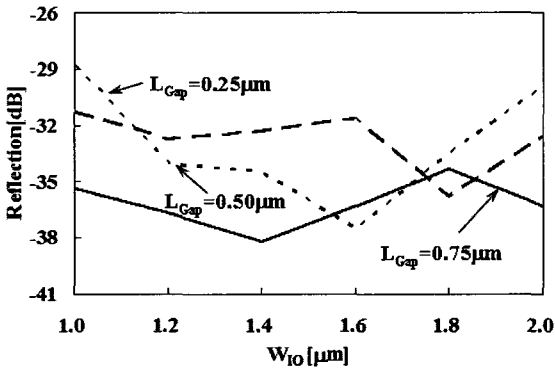


그림 9. 제안된 모드 크기 변환기의 반사손실
 Fig. 9. Reflection loss of proposed mode size converter.

의 트렌치의 폭이 광도파로 접속면에서의 트렌치의 폭 (W_{Tr1})보다 더욱 크게 설계하여야 함을 나타내고 있다.

그림 5의 개략도에서 광도파로 측 트렌치의 폭(W_{Tr1})을 5 μm로 하고 테이퍼 도파로와 트렌치의 간격, 광섬유와의 접속면에서의 트렌치의 폭(W_{Tr2})에 따른 결합손실을 계산하여 그림 8에 보였다. 그림 8에서 알 수 있듯이 결합손실은 광섬유 접속면에서의 트렌치의 폭이 증가할수록 감소함을 알 수 있다. 이는 직선 트렌치보다 향상된 결합손실을 보이고 있으며 광섬유와의 접속면에서의 트렌치의 폭이 광도파로 접속면에서의 트렌치의 폭 (W_{Tr1})보다 더욱 크게 설계하여야 함을 나타내고 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 주기적으로 분리된 광도파로를 통하여 모드 크기 변환기를 설계하였으며 공정상 적용이 용

이한 수평형 테이퍼 구조와 적절한 분리 간격을 가지도록 설계 하였다. 주기적으로 분리된 광도파로로 구성된 모드 크기 변환기의 결합손실은 테이퍼 길이, 분리된 광도파로의 길이, 광섬유 접속면에서 도파로 폭에 의해 결정되며 이러한 결정요인을 중심으로 그 특성을 고찰 하였다. 또한 성능향상을 위해 주기적으로 분리된 광도파로 양측에 간단한 식각 공정으로 형성 가능한 테이퍼를 부가한 구조를 제시하였다.

주기가 5 μm인 경우 테이퍼 영역의 길이가 300 μm 이상이어야 하며 이 때 분리간격은 1 μm 이상이어야 한다. 광섬유 접속면에서의 도파로 폭이 1.3 μm이고, 분리 간격이 0.25 μm인 경우 테이퍼 영역의 길이가 500 μm일 때, 결합손실이 0.33 dB/point를 나타내었다. 또한 트렌치가 부가된 경우 최적의 설계에서 결합손실이 0.21 dB/point를 나타내었으며 이는 수직-수평형 테이퍼 모드 크기 변환기의 성능에 필적하는 결과이다. 이상의 결과에서 본 연구는 주기적으로 분리된 수평형 테이퍼 모드 크기 변환기 구조를 통하여 슈퍼하이델타 실리카 광도파로 소자와 광섬유와의 접속을 효율적으로 얻을 수 있음을 보였으며 테이퍼 트렌치를 부가하여 결합손실을 개선하였다.

참 고 문 헌

- [1] N. Kalonji and I. Semo, "High efficiency, long working distance laser diode to single mode fiber coupling," Electron. Lett., Vol. 30, No 11, pp. 892-894, 1994.
- [2] H. M. Presby and C. A. Edwards, "Near 100% efficient fiber microlenses," Electron. Lett., Vol. 28, No 6, pp. 582-584, 1992.
- [3] Ingrid Moerman, Peter P. Van Daele and Piet M. Demester "A Review on fabrication technologies for the monolithic integration of tapers with III-V semiconductor," IEEE J. Quantum. Elec-tron., Vol. 3, No. 6, p.1308, 1997.
- [4] M. Ithoh, T. Saida, Y. hida, M. Ishii, Y. Inoue, Y. Hibino and A. Sugita "Large reduction of single mode-fibre coupling loss in 1.5% Δ planar lightwave circuits using spot-size convert-ers," Electron. Lett., Vol. 38, No. 2, pp. 72-74, 2002.
- [5] Z. Weissman and I. hendel. "Analysis of periodi-cally segmented waveguide mode expander," J. Lightwave Technol., Vol. 13, No. 10, pp. 2053-2058, 1995.
- [6] Z. Weissman and A. hardly. "modes of

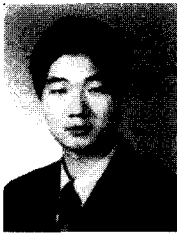
periodically segmented waveguides," J. lightwve Technol., Vol.11, No. 11, pp. 1831-1838, 1993.

[7] M. Kawchi, "Silica waveguides on silicon and their application to integrated-optics component," Opt. Quantum Elecron., Vol. 22 pp.391-416, 1990.

[8] C. H. Henry, G. E. Blonder, and R. F. Kazarinov, "Glass waveguides on silicon for hybrid optical packaging," J. Lightwave Technol., Vol. 7, pp.1530-1539, 1989.

[9] Y. Chung and N. Dagli, "Analysis of Z-invariant and Z-variant semiconductor rib waveguides by explicit finite difference beam propagation method with nonuniform mesh configuration," J. Quantum Electron., Vol. 27, pp. 2296-2305, 1991.

— 저 자 소 개 —



박 보 근(정회원)
 2002년 광운대학교 전자 재료 공학과 학사 졸업.
 2003년 광운대학교 전자 통신 공학과 석사.
 <주관심분야: 통신, 광소자, 반도체>



정 영 철(정회원)
 1981년 서울대학교 전자 공학과 학사 졸업.
 1983년 한국과학기술원 전기/전자 석사 졸업.
 1992년 Univ. of Calif. Santa Babara, 전기 및 컴퓨터 공학 박사 졸업
 현재 광운대학교 전자통신공학과 교수
 <주관심분야: 통신, 광소자, 반도체>

