

폴리머 립 광도파로를 위한 새로운 모드 모양 변화기

김덕봉 · 조정환 · 이상윤 · 장우혁 · 이태형

삼성전자 광소재사업팀 기술개발그룹

(1999년 11월 22일 받음, 2000년 3월 17일 수정본 받음)

본 논문에서는 폴리머 립 광도파로에 적합한 모드 모양 변화기를 제안했다. 제안된 모드 모양 변화기는 이중 립 구조를 갖고 광섬유의 큰 원형 단일모드를 일반적인 립 광도파로의 작은 타원형 단일모드로 변화 시켰다. 또한 제안된 모드 모양 변화기는 폴리머 매질을 기반으로 하는 광도파로 소자 제작 공정에 매우 적합하다. 3차원 BPM을 통해 모드 불일치에 의한 결합 손실이 0.079 dB/facet이고 모드 모양 변화기에 의한 전체 손실이 0.2 dB 미만임을 보였다.

I. 서 론

최근에 폴리머 Planar Lightwave Circuit(PLC) 기술은 다양한 기능을 갖는 광도파로 소자를 저가로 제작이 가능하다는 장점 때문에 광통신 및 광 가입자 망을 구성하는 광도파로 소자에 많이 적용되고 있다.^[1-3] 일반적으로 립 구조를 갖는 광도파로는 편리한 공정기술과 적은 비용으로 도파로 내에 한정되는 빛의 모양을 정확하게 조절할 수 있어 광도파로 소자에 매우 유리하다. 특히 립 광도파로는 코어층(Core Layer)과 클래딩층(Cladding Layer)의 매질의 굴절률 차이가 커도 적절한 립 구조의 설계를 통해 원하는 크기를 갖는 단일 모드를 구현할 수 있다.^[4] 따라서 립 광도파로는 높은 굴절률 차이를 갖는 고 집적화 된 광학소자나 소자 크기가 큰 광학 소자에 흔히 사용된다. 그러나 립 광도파로는 폭에 비해 높이가 작은 타원형의 중심 비대칭 모드 모양(Elliptical Mode Profile)을 갖기 때문에 원형 모드 모양(Circular Mode Profile)을 갖는 광섬유와의 연결 시 모드 모양의 부정합에 의해 매우 큰 결합 손실이 발생한다. 일반적으로 광도파로와 광섬유 사이의 결합 손실을 줄이기 위해 광도파로 소자와 광섬유 사이에 사용되는 모드 크기 변환기(Mode Size Converter)는 현재까지 여러 가지의 다양한 구조가 연구 개발되고 있다.^[5] 그러나 기존의 모드 크기 변환기는 광도파로의 모드의 크기만을 조정하거나 폴리머 공정에 적용하기 힘든 복잡한 구조를 갖고 있어, 광섬유와 비슷한 크기의 모드를 갖거나 폴리머 매질에 기반을 둔 립 광도파로 소자에는 적합하지 않다.

본 논문에서는 폴리머 립 광도파로에 적용이 가능할 뿐만 아니라 단일 모드 광섬유와 결합시 매우 낮은 결합손실을 갖는 새로운 구조의 모드 모양 변화기(Mode Profile Converter)를 제안한다. 설계된 모드 변화기를 유한 차분법(Finite Difference Method)과 빔전파 방법(Beam Propagation Method:BPM)을 이용하여 일반적인 단일 모드 광섬유와의 결합 시 전체 삽입 손실과 결합효율을 계산했다. 모드 부정합에 의한 결합 손실이 0.079 dB/facet이었고 모드 모양 변화기에 의한 전체 손실은 0.2 dB 미만이었다.

II. 구조와 동작 원리

립 광도파로에서 모드의 높이는 코어층과 클래딩층의 굴절률 차이 $\Delta n(=(n_{core}-n_{cladd})/n_{core})$ 과 코어층의 두께에 의해 주로 결정된다. 또한 모드의 폭은 립의 식각 깊이와 폭에 따라 결정된다. 그러나 일반적인 폴리머 공정을 기반으로 한 모드 모양 변화기에서 광도파로 코어층의 두께나 Δn 의 변화는 여기에 연결된 광학 소자의 광도파로 코어층의 두께나 Δn 의 변화를 반드시 초래하여 소자의 성능을 저하시킨다. 따라서 모드 높이를 조정하기 위해 모드 모양 변화기의 도파로 코어층의 두께나 Δn 을 변화시키기는 매우 힘들다. 본 논문에서 제안된 모드 모양 변화기는 새로운 구조를 도입함으로써 모드 모양의 폭 뿐만 아니라 높이의 조정이 가능하다. 제안된 모드 모양 변화기는 그림 1과 같이 결합영역(Coupling Region), 전달영역(Transformation Region) 그리고 안정화영역(Stabilization Region)으로 구성된다. 결합영역은 광섬유와의 효과적인 결합을 위해 새롭게 제안된 단면구조를 갖는다. 전달영역에서는 파장 독립적이고(Wavelength Independence) 매우 작은 손실을 갖도록 adiabatic 조건을 만족시키는 taper 구조를 이용하여, 결합영역에 입사된 광섬유의 큰 원형 모드를 립 광도파로의 작은 타원형 모드로 변환시킨다. 마지막으로 안정화영역은 단순히 일정한 길이를 갖는 단일모드 립 광도파로로 구성되어 있는데, 전달영역에서 야기된 고차모드를 클래딩층으로 방사(Radiation) 시켜 제거하는 역할을 수행한다.

그림 2는 새로운 모드 모양 변화기의 각 영역에서 단면의 구조와 모드 모양을 보여준다. 먼저 그림 2(a)에서 광섬유와 효율적인 결합을 위한 모드 모양 변화기의 새로운 단면구조를 나타냈다. 이 구조는 립 광도파로의 아래쪽 클래딩층(Under Cladding Layer)에 도랑(trench)을 만들고 코어층과 같은 재료를 채워 넣었다. 아래쪽 클래딩층에 형성된 도랑이 도파로에서 역전된 립 구조(Inverted Rib)의 역할을 수행하므로 이를 이중 립 구조(Double Rib Geometry)라고 한다. 그림 2(a)은 이중 립 구조에 의해 모드의 높이가 확장됨을 보여 준다. 모드 모양의 윤곽선은 모드가 역전된 립 구조에 거의 분포하고

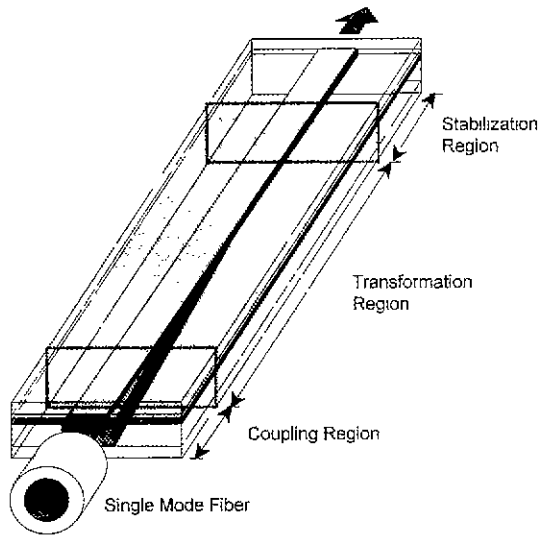


그림 1. 새로운 모드 모양 변환기의 개념도.

이로 인해 광섬유의 큰 원형 모드와 거의 일치함을 알 수 있다. 다음으로 이중 립 구조에 의해 확장된 모드가 모드 모양 변환기에 연결된 광학 소자의 일반적인 립 광도파로의 모드로 변환되기 위해서는 높이 방향으로의 모드 모양 변환을 위한 방법이 필요하다. 이러한 변환은 그림 2(b)와 (c)처럼 역전된 립의 폭을 감소시킴으로써 효과적으로 이루어 진다. 또한 역전된 립의 구조가 없어지므로 광도파로는 이중 립 구조에서 일반적인 립 구조가 된다. 그림 2(b)와 (c)에서 역전된 립의 폭에 따른 모드의 윤곽선의 변화를 보여 준다. 모드의 폭과 높이가 다른 비율로 감소하고 모드의 중심도 상위 립 구조의 중심으로 이동한다. 그림 2(d)와 같이 역전 립의 폭이 0이 되

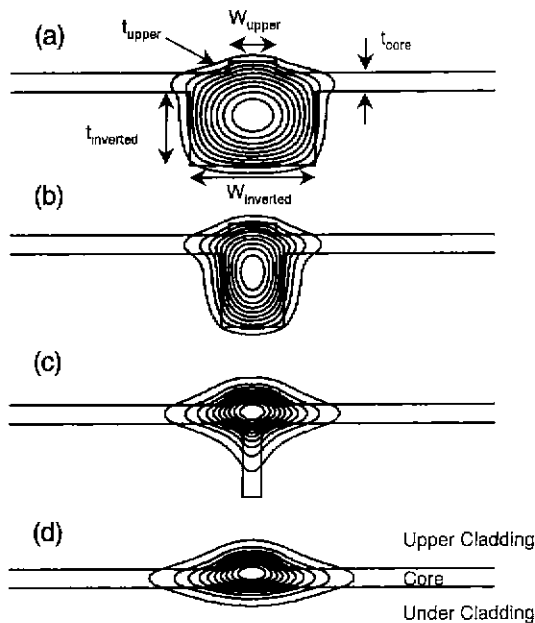


그림 2. 역전된 립 구조의 폭 변화에 따른 기본 모드의 변화. (a)는 결합영역에서 이중 립 구조와 모드의 형태이고 (b)와 (c)는 전달영역에서 역전된 립의 폭이 줄어들 때 모드의 형태이다. (d)는 안정화영역에서 모드의 형태를 나타냈다.

어 역전된 구조가 없다면, 이중 립 구조는 보통의 립 광도파로가 되며 자연스럽게 그림 2(d)의 모드 모양을 갖는다. 따라서 역전 립 구조의 폭만을 변화를 통해 광섬유의 큰 원형 모드를 립 광도파로의 작은 타원 모드로 변화시킬 수 있다. 새로운 모드 모양 변환기의 이러한 특성의 도파로의 두께의 변화보다 폭의 변화를 주는 것이 용이한 폴리머 공정을 사용하는 광학소자에 매우 유용하다.

III. 설계 및 시뮬레이션

결합영역의 이중 립 구조는 광섬유의 모드 모양을 고려하여 설계되어야 한다. 이를 위해 유한 차분법(Finite Difference Method)으로 이중 립 구조와 광섬유의 모드 모양을 구하고 중첩 적분 방법(Overlap Integral Method)을 이용하여 단일 모드 광섬유와 이중 립 구조의 결합 효율을 구한다. 그림 3은 이중 립 구조의 폭과 식각 깊이에 따른 광섬유와의 결합효율을 나타낸 그림이다. 상위 립 구조의 폭과 식각 깊이가 모드 모양 변환기에 결합된 광학소자와 동일하다고 가정하면, 역전된 립 구조의 폭과 식각 깊이만이 조정 가능하다. 그림 3에서 상위 립은 폭이 $W_{upper} = 5 \mu\text{m}$ 이고 식각 깊이가 $t_{upper} = 1.5 \mu\text{m}$ 이고 코어층의 두께가 $t_{core} = 2.5 \mu\text{m}$ 이고 $\% \Delta n = 1.08 (@1.55 \mu\text{m})$ 인 구조를 갖는다. 또한 단일 모드 광섬유는 단일 모드 광섬유는 $\% \Delta n = 0.275$ 이고 코어층의 직경이 $8.9 \mu\text{m}$ 인 구조를 갖는다. 이때 결합효율은, 그림 3에서 보듯이 역전된 립이 폭이 $W_{inverted} = 11.5 \mu\text{m}$ 이고 식각 깊이가 $t_{inverted} = 7.5 \mu\text{m}$ 일 때, 0.982(결합 손실:0.079 dB)가 된다. 이것은 그림 3의 이중 립 구조와 동일한 상위 립의 구조를 갖는 일반적인 립 광도파로가 광섬유에 결합될 때, 모드 부정합에 의한 결합 손실이 1.2 dB인 것에 비해 매우 작은 값이다. 따라서 이중 립 구조의 모드가 광섬유의 큰 원형 모드와 거의 완벽하게 일치함을 알 수 있다. 또한 그림 3의 간격이 넓은 윤곽선의 형태를 통해 제작된 이중 립 구조가 최적화된 구조로부터 벗어나더라도 결합효율에 크게 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다. 즉 이중 립 구조는 매우 큰 공정 오차 한계를 갖는다. 3차원 BPM 시

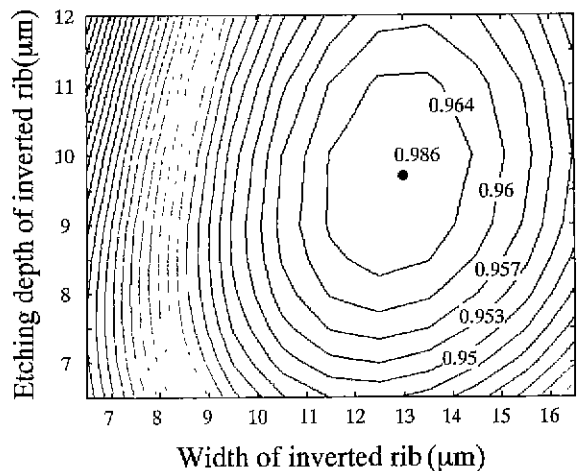


그림 3. 역전된 립 구조의 폭($W_{inverted}$)과 식각 깊이($t_{inverted}$) 변화에 따른 광섬유와 이중 립 구조간의 결합효율.

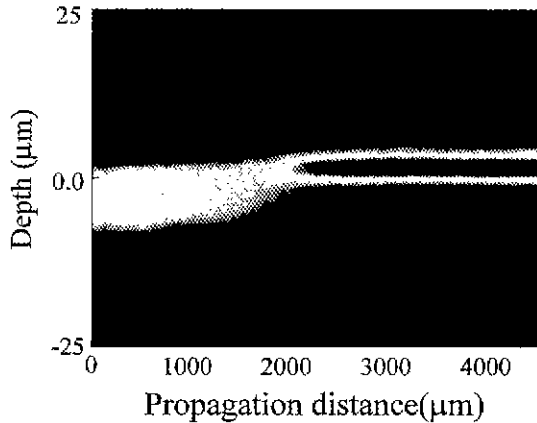


그림 4 새로운 모드 모양 변화기에서 진행거리에 따른 전기장의 모양 변화.

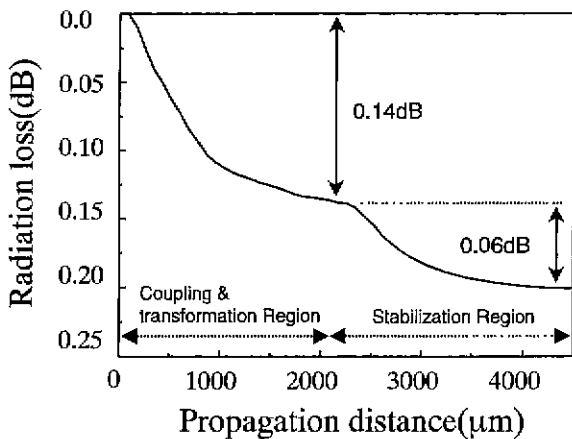


그림 5. 새로운 모드 모양 변화기에서 진행거리에 따른 손실.

물레이션을 통해 역전된 립 구조의 폭이 빛의 진행방향을 따라 $13\mu\text{m}$ 에서 $0\mu\text{m}$ 로 감소하는 taper 구조를 갖는 모드 모양 변화기의 광학특성을 계산했다. 모드 모양 변화기 단면구조는 그림 3에서 계산된 최적의 구조를 선택했다. 그림 4는 계산된 빛의 전파 거리에 대한 전기장의 분포를 나타냈다. 입력된 광섬유의 큰 원형 모드는 제안된 모드 모양 변화기의 결합영역에 완전히 결합되고, 변환영역에 의해 손실 없이 립 광도파로의 작은 타원형 모드로 변환 되는 것을 볼 수 있다. 제안된 모드 모양 변화기에서 전파 거리에 대한 빛의 세기를 그림 5에 나타냈다. 결합영역 과 전달영역에서의 0.14 dB의 손

실을 포함하여 모드 모양 변화기에 의한 전체 손실은 0.2 dB였다. 안정화영역에서의 0.06 dB의 손실은 전달영역에서 야기된 고차 모드에 의해서 발생한다. 따라서 전달영역에서 역전된 립 구조에 최적화된 taper구조를 적용함으로써 충분히 전체 손실을 감소시킬 수 있다. 그러므로 3차원 BPM 시뮬레이션을 통해 제안된 모드 모양 변화기가 큰 원형 모드를 작은 타원형 모드로 거의 손실 없이 변화시킬 수 있음을 확인했다.

제안된 모드 모양 변화기는 폴리머 매질을 기반으로 하는 광도파로 소자 제작 공정에 매우 적합하다. 즉 이 구조는 복잡하거나 폴리머 공정에서 구현하기 힘든 코어층의 두께와 굴절율의 변화를 요구하는 기존의 모드 크기 변화기와 달리 포토 마스크에 의한 역전된 립 구조의 폭의 변화로 모드 모양을 충분히 변화시킬 수 있기 때문이다. 따라서 제작 공정은 매우 간단한데, 우선 포토리소그라피(Photo-lithography) 공정과 건식 식각 공정으로 아래쪽 클래딩층에 tapering된 역전된 립 구조를 식각하고, 스핀 코팅 방법으로 코어층을 형성한다. 다시 한번 더 포토리소그라피 공정과 건식 식각 공정으로 코어층의 식각을 하여, 역전된 립 구조와 잘 정렬된 상위 립 구조를 형성한다. 마지막으로 위쪽 클래딩층을 스핀 코팅하면 모드 모양 변화기가 완성된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 폴리머 립 광도파로에 적합한 이중 립 구조를 갖는 모드 모양 변화기를 제안했다. 제안된 모드 모양 변화기는 광섬유의 큰 원형 단일모드를 일반적인 립 광도파로의 작은 타원형 단일모드로 변화 시켰다. 또한 제안된 모드 모양 변화기는 폴리머 매질을 기반으로 하는 광도파로 소자 제작 공정에 매우 적합하다. 3차원 BPM을 통해 모드 불일치에 의한 결합 손실이 0.079 dB/facet이고 모드 모양 변화기에 의한 전체 손실이 0.2 dB 미만임을 보였다.

참고문헌

- [1] T. IZAWA, Proc. Tech. Dig. ECOC-IOOC'91, 97 (1991).
- [2] B. L. BOOTH, J. Lightwave Tech. 7, 1445 (1989).
- [3] 이상신, 신상영, 한국광학회지 4, 245 (1997).
- [4] S. P. POGOSSIAN, L. VESCAN, and A. VONSOVICI, J. Lightwave Tech. 16, 1851 (1998).
- [5] G. A. VAWTER, R. E. SIMTH, H. HOU, and J. R. WENDT. IEEE Photon. Tech. Lett. 9, 425 (1997).

A novel mode shape converter for polymer Rib waveguide

Kim Dug-Bong, Cho Jung Hwan, Yi Sang Yoon, Jang Woo Hyeuk and Rhee Tae Hyung

Engineering and R&D Group, Samsung Electronics Co. Ltd., Suwon 440-600, Korea

(Received November 22, 1999, Revised manuscript received March 17, 2000)

We proposed a novel mode shape converter (MSC) that can effectively reduce the coupling loss between polymer rib waveguide and single mode fiber. The double-rib geometry that was used in the novel MSC converted an elliptical mode to circular mode and an circular mode to elliptical mode. This structure can be easily realized by using the typical fabrication process for polymer waveguide. Simulation using a three dimensional beam propagation method showed that the novel MSC has a coupling loss of 0.079 dB/facet and total insertion loss of less than 0.2 dB.