

소형 다중모드 간섭 결합기의 새로운 설계 개념 Novel Design Concept for Compact MMI Couplers

호광춘 (Kwang-Chun Ho)

Dept. of Information and Communications Eng., Hansung University

kwangho@hansung.ac.kr

Abstract

This paper shows through detailed simulations that the length of conventionally designed multimode-interference couplers can be shorted significantly by stepped-width and stepped-index design. For the cross-coupling device, this stepped-design results in 9% or more length reduction.

I. 서론

다중모드 간섭 결합기 (multimode interference couplers: MMICs)에 기초한 소자들은 링 레이저, Mach Zehnder 간섭기, 광 스위치와 같은 전력분배가 필요한 집적 광소자에 널리 이용되어 오고 있다 [1]. 최근, large-scale의 MMI 결합기를 이용한 위상 배열 WDM 필터가 신호를 분리하거나, 결합하기 위하여 사용되어 왔다 [2]. 그러나, 입/출력 포트의 수가 증가하면 MMI 결합기의 self-imaging 현상으로 인하여 이틀 구조의 결합길이는 그 포트 수의 2배에 해당하는 길이로 증가한다. 이 긴 소자길이는 집적소자를 제작하는데 많은 어려움을 발생시킨다.

이와 같은 연유로 인하여 매우 작은 scale의 MMI 결합기 설계에 대한 중요성이 날로 증가하고 있다. 이를 위하여 본 논문에서는 유효 유전체 방법 (Effective Dielectric Method: EDM) [3]을 기반으로 하는 종방향 모드 전송선로 해석법 (longitudinal modal transmission-line theory: L-MTLT) [4]을 사용하여 새로운 형태의 소형 stepped-MMI 결합기의 설계특성과 그 결합길이를 분석하였다.

II. 소형 MMI 결합기의 설계 원리와 결합특성

MMI 결합기와 같이 Rib 형 광 전송구조로 형성된 방향성 결합기는 rib 형 도파로의 높이와 그 전송 폭에 따라 전송 굴절률이 변화하며 이에 의존하여 전송 모드들 사이의 결합길이가 증가하거나 감소한다. 이러한 변수들에 의존하는 MMI 결합기가 그림 1에 자세하게 도시되어 있다. 그림 1(c)에서 보듯이, MMI 결합기는 두께 $t_s = 0.5 \mu m$, 굴절률

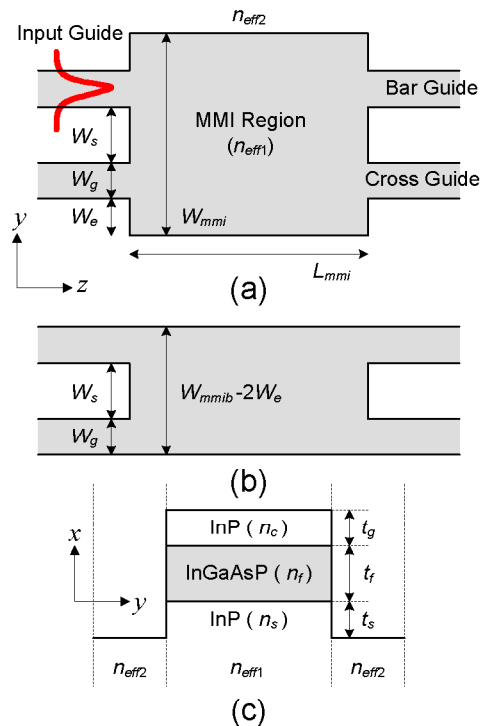


그림 1. (a) 2X2 MMI 결합기의 평면도, (b) offset 이 없는 MMI 결합기의 평면도, (c) MMI 를 구성하는 rib 도파로의 단면도.

$n_s = 3.17$ 인 InP, 두께 $t_f = 0.5 \mu m$, 굴절률 $n_f = 3.337$ 인 InGaAsP, 두께 $t_c = 1.5 \mu m$, 굴절률 $n_c = 3.17$ 인 InP 층들로 구성된 전송 채널을 갖도록 설계하였다. 또한, 입력 도파로와 cross/bar 도파로들의 폭은 $W_g = 1.0 \mu m$ 로 설계하였으며, MMI 결합기의 입력 전송 폭과 offset 은 각각 $W_{mmi} = 6.0 \mu m$ 와 $W_e = 0.25 \mu m$ 로 선택하였다.

선택한 구조에 대하여 EDM을 적용하면 xy-평면 상에서 y-축 방향으로 계산된 각 영역들의 유효 굴절률 (n_{eff1}, n_{eff2})을 결정할 수 있으며, 그림 1(a), (b)와 같은 능가 2-D 구조를 얻을 수 있다. 결국, 증가화된 이 2-D 전송구조에 L-MTLT를 적용하여 stepped-MMI 결합기에서 전파하는 중첩모드들 간의 결합특성과 그 결합길이를 분석할 수 있다.

전형적인 MMI 결합기를 설계할 때 결합길이

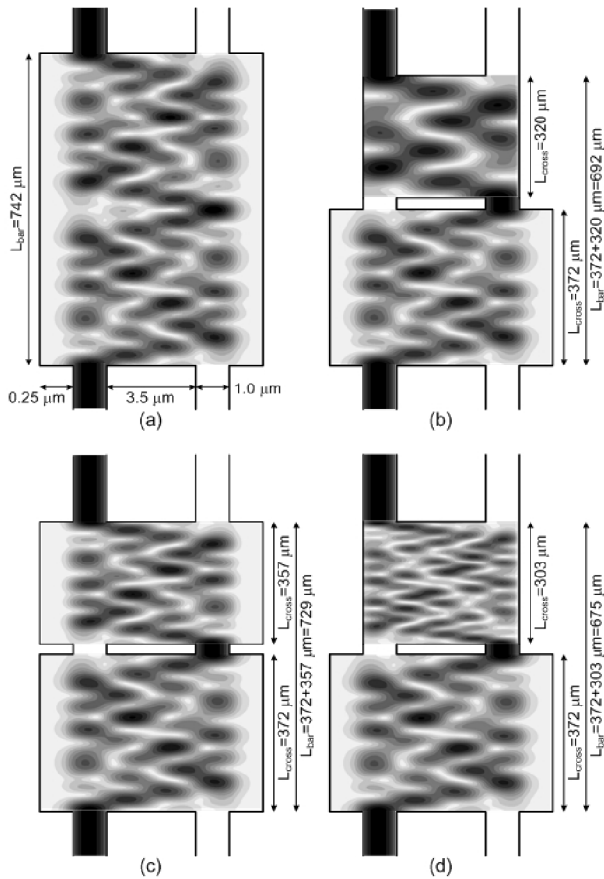


그림 2. 다른 설계특성의 MMI 결합기에 대한 2-D 필드분포: (a) 전형적인 constant-width 설계, (b) stepped-width 설계, (c) stepped-index 설계, (d) stepped-width and stepped-index 설계

L_{mmi} 는 MMI 결합기의 전송 폭 W_{mmi} 에 비례하며, 전파하는 중첩모드들 사이의 굴절률 차에 반비례한다. 이와 같은 특성을 이용하여 서로 다른 전송 폭과 굴절률 차를 갖는 MMI 결합기들을 연결하여 stepped-MMI 결합기를 설계하면, 전형적인 방법에 의하여 설계된 MMI 결합기보다 현저하게 그 결합길이가 줄어들며 결국 소자를 소형화시킬 수 있다.

먼저 그림 2(a)에서 보듯이, 전형적인 constant-width 로 구성된 MMI 결합기에서 bar 상태에서의 결합길이는 $L_{bar} = 742\mu m$ 로 나타났다.

첫 번째로, 그림 2(b)와 같이 전송 폭이 W_{mmi} 와 $W_{mmi} - 2W_e$ 로 서로 다른 두 개의 MMI 결합기(그림 1 의 (a)와 (b) 구조)를 연결하여 stepped-MMI 결합기를 설계하였다. 그림에서 보듯이, 두 개의 cross 상태에 대한 결합길이는 각각 $L_{cross} = 372\mu m$ 와 $L_{cross} = 320\mu m$ 로 나타났다. 결국, cross 상태들의 출력이 결합된 bar 상태 출력은 그림 2(a)의 구조보다 약 6.7%가 줄어든 $L_{bar} = 692\mu m$ 에서 발생했으며, 그때 결합효율은 약 82%로 나타났다.

두 번째로, 전송 폭은 W_{mmi} 로 유지하고 그림

1(c)의 단면도에 주어진 core의 굴절률을 $n_f = 3.5$ 로 증가시킨 MMI 결합기를 연결하여 stepped-index 구조의 결합기를 설계하였다. 그림 2(c)에서 보듯이, core 굴절률이 $n_f = 3.5$ 인 MMI 결합기에서 cross 상태의 결합길이는 $L_{cross} = 357\mu m$ 에서 나타났다. 결국 소자의 크기는 전형적인 구조인 그림 2(a)보다 약 1.8% 축소되었다. 그러나, 결합효율은 그림 2(b)보다 향상된 91%로 나타났다.

마지막으로, 전송 폭과 core의 굴절률을 동시에 $W_{mmi} - 2W_e$ 와 $n_f = 3.5$ 로 선택한 MMI 결합기를 사용하여 stepped-width and stepped-index 구조의 결합기를 설계하였다. 그림 2(d)에서 보듯이, bar 상태의 결합길이는 (a) 구조에 비하여 약 9%가 줄어들었으며, 결합효율은 93%로 그림 2에 제안된 구조 중에서 가장 좋은 효율을 나타내었다.

III. 결론

새로운 stepped-MMI 결합기의 설계 및 특성을 분석하기 위하여 모드 전송선로 이론과 유효 유전체 방법을 결합하여 그 결합기의 결합특성을 수치 해석하였다.

그 결과 본 논문에서 제안한 stepped-MMI 결합기를 사용하면 전형적인 MMI 결합기에 비하여 소자크기를 현저하게 줄이고, 결합효율은 향상시킬 수 있음을 보여 주었다.

참고 문헌

- [1] L. Soldano and E. Pennings, "Optical multi-mode interference devices based on self-imaging: Principles and applications," *J. Lightwave Technol.*, vol. 13, (1995).
- [2] C. Herben, C. Vreeburg, J. Leijtens, H. Block, F. Groen, I. Moerman, J. Pedersen, and M. Smit, "Chirping of an MMI-PHASAR demultiplexer for application in multiwavelength lasers," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 9, (1997).
- [3] S. T. Peng and A. Oliner, "Guidance and Leakage Properties of a Class of Open Dielectric Waveguides: Part I-Mathematical Formulations," *IEEE Trans. MTT*, vol. 29, no. 9, (1981).
- [4] 호광춘, 김준환, 김영권, "광통신용 광 결합기의 모드 전송선로 해석법," 대한전자공학회지, 제 35 권, D 편, 제 7 호, (1998).