J. Microelectron. Packag. Soc., 24(4), 19-22 (2017)
Print ISSN 1226-9360 Online ISSN 2287-7525
https://doi.org/10.6117/kmeps.2017.24.4.019

Compact, Fiber Array-free 광패키징 구현을 위한 신개념 광소자 설계

배한욱[1] · 심영보[1] · 박준태[2] · 이창린[2] · 정명영[1,†]
[1]부산대학교 인지메카트로닉스공학과
[2](주)알텍

Design of Wavelength-free 1×N Optical Splitter using a Tapered Waveguide

Han Uk Bae[1], Young Bo Shim[1], Jun Tae Park[2], Chang rin Lee[2], and Myung Yung Jeong[1,†]
[1]Department of Cogno-Mechatronics Engineering, Pusan National University, Geumjeong-gu, Busan 46241, Korea
[2]ALTEC Co., LTD., Busandaehak-ro 63beon-gil, Geumjeong-gu, Busan 46241, Korea

(Received September 8, 2017: Corrected September 29, 2017: Accepted December 19, 2017)

초 록: 본 논문에서는 방대한 양의 데이터를 전송하기 위한 고분자 광도파로를 기반으로 한 집적 평면형 다중모드 1×N 광 분배소자의 구조를 제안하였다. 두 개의 상이한 모양의 테이퍼 형 광도파로를 이용하여 광의 모드 변환 특성을 분석하고, 넓은 파장 영역에도 동작이 가능한 광분배기 구조를 설계하였다. 일반적인 광 분배기 구조는 Y-branch를 나열하는 형태와 Mach-Zehnder 및 커플러 형태로 제작되고 있으나, 분기부가 반복되면서 광 손실이 증가하는 문제가 있다. 해결 방안으로 본 연구에서 제안되는 구조는 Y-branch를 배열하지 않는 구조를 제안하여 분기부에 대한 손실을 줄이고, 출력단의 광의 세기가 균일하게 출력되는 해결방안을 제안하였다.

Abstract: In this study, wavelength-free 1×N optical splitter using a tapered polymer waveguide was studied to realize the transmission network of high-speed information communication network. Based on the evaluation of mode converting characteristics of splitter having two tapered multi-mode interference structures, an optimized structure of the 1×N splitter was proposed for wide-range of input wavelength. 2D-BPM analysis 1 × 8 model showed that insertion loss of the proposed splitter is less than 10 dB for wavelength of input source from 1260 nm to 1650 nm.

Keywords: Wavelength independent, Optical splitter, Tapered MMI

1. 서 론

최근 IoT, 홈 네트워크 등 통신수요의 증가로 4차 산업혁명의 키워드 중 하나인 초연결시대(Ultra-connectivity period)에 대응하기 위해 GE-PON (Gigabit Ethernet Passive Optical Network)기술과 대용량, 초고속 기술을 요구하고 있으며, 데이터를 효과적으로 전송하기 위한 인프라 기술로 FTTH (Fiber to the Home)이 각광을 받고 있다. 광섬유를 기반으로 한 광센서는 센서의 소형화와 높은 분해능을 갖기 위해 PLC (Planar Lightwave Circuit) 기반의 대체기술이 활발히 연구되고 있다. 기존 PLC 소자의 제작 공정으로는 반도체 공정과 유사한 방법으로 공정이 반복적이고 복잡하며 제작시간이 긴 단점이 있어, 낮은 생산성과 저가격화에 대한 한계점을 지니고 있다. 이러한 한계점에 대응하기 위해 기술과 요구사항을 충족하면서 앞으로의 산업계에서 요구되는 저비용, 높은 생산성을 위해 silica 소자보다 단가가 저렴한 폴리머 광도파로를 기반으로 임프린트 공정 기술을 통해 광섬유 집적 평면형 고분자 광 분배 소자를 개발하고자 하였다.[1-3] 현재까지 개발된 PLC를 이용한 광 분배기는 Y-분기기를 이용한 방식과 2 × 2 커플러를 이용한 Mach-Zehnder 방식으로 구현되어 왔다. 특히 Mach-Zehnder 간섭기는 기존망인 1310 nm 영역 파장과 앞으로 사용될 1550 nm 파장 분할 다중화 망 (Wavelength Division Multiplexing, WDM)이 동시에 사용할 수 있기 때문에 많은 주목을 받고 있으며, 파장에 의존하지 않는 커플러에 관하여 여러 가지 모델이 제시되고 있다.[4] 그러나 본 연구에서는 빔 전송법(Beam Propagation Method) [5-6]의 대표적인 방법 중 하나인 유효

†Corresponding author
E-mail: myjeong@pusan.ac.kr

© 2017, The Korean Microelectronics and Packaging Society
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

굴절률(Effective Index Method) 법[7]을 이용하여 3차원 형태의 광 도파로 소자를 2차원으로 근사시켜 평판형의 도파로 형태로 변환하여 해석하고, 3차원 형태의 시뮬레이션을 통해 도파로의 폭 의존성과 더불어 높이 의존성을 파악하였으며, Mach-Zehnder 간섭계를 사용하지 않으며, 실제 사용되고 있는 1260 nm~1650 nm, 파장대의 입력 광원에 대응이 가능한 파장 무관형 빔 스플리터 설계 및 해석에 대해 고찰하였다. 특히 테이퍼 MMI (Multi-Mode Interference) 구조에서 설계 변수가 될 수 있는 길이와 폭, 출력단의 S-bend 곡률 반경 변화에 의한 파장 무관형 빔 스플리터의 특성 변화를 고찰하였다.

2. 파장 무관형 광 분배기 최적 설계 시뮬레이션

파장 무관형 광 분배기는 FTTH용 광 수동소자이며, 본 연구에서 사용되는 광 도파로는 다중 모드 광도파로로 코어의 크기는 50×50 μm, 클래드의 굴절률은 1550 nm에서 1.4808, 코어의 굴절률은 1.492인 Δn=0.75%로 설정하고 동작 파장은 silica 광섬유의 저 손실 파장대역인 1260 nm에서 1650 nm로 설정을 하였다. 멀티모드 광 분배기의 분기 영역 간격은 구조상 큰 종횡비로 인해 임프린트 공정 시 패턴의 손상 및 변형이 발생하기 쉬워 실제로 제작이 가능한 디바이스를 제조하는데 요구되는 제작 공차를 충족시키기 위해 9 μm로 설정을 하였다.

기존의 광 분배기의 구조는 cascade 방식으로 분기되는 채널수를 늘려가는 방법이 사용되고 있으나, 채널수가 많고 분기되는 구간이 많아질수록 분기점에서의 손실이 증가하게 되는 단점이 있으며, MMI 방식의 광 분배기는 동작 될 수 있는 파장의 영역이 좁고 소자의 길이가 길어지는 단점이 있다.[8-9] 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 테이퍼진 부분을 통한 모드 간의 상대적인 위상 차가 형상에 따라 간섭되는 원리를 적용하여[10-11], 출력 단의 광의 강도가 일정하고 손실을 최소한으로 낮춘 소자를 Fig. 1과 같이 설계하였다.

입력 광원이 들어오는 단일채널 부분과 위상차에 따른 간섭을 유도할 2단계의 tapered MMI 구조, 8개의 출력 채널로 구성되어 있고, 출력단 코어의 피치 간격은 250 μm로 설정하였다. 사용되는 광원의 파장은 1260 nm에서 1650 nm 대역을 사용하였으며, 광소자의 설계 변수로는

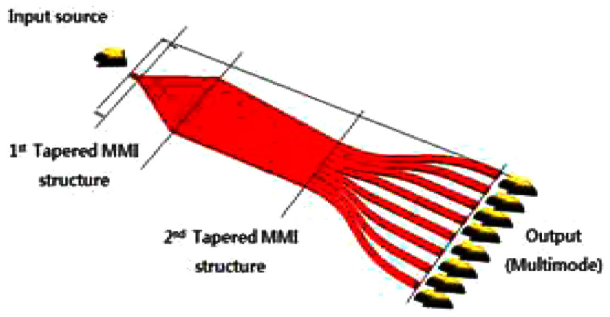

Fig. 1. Schematic design of wavelength independent optical splitter.

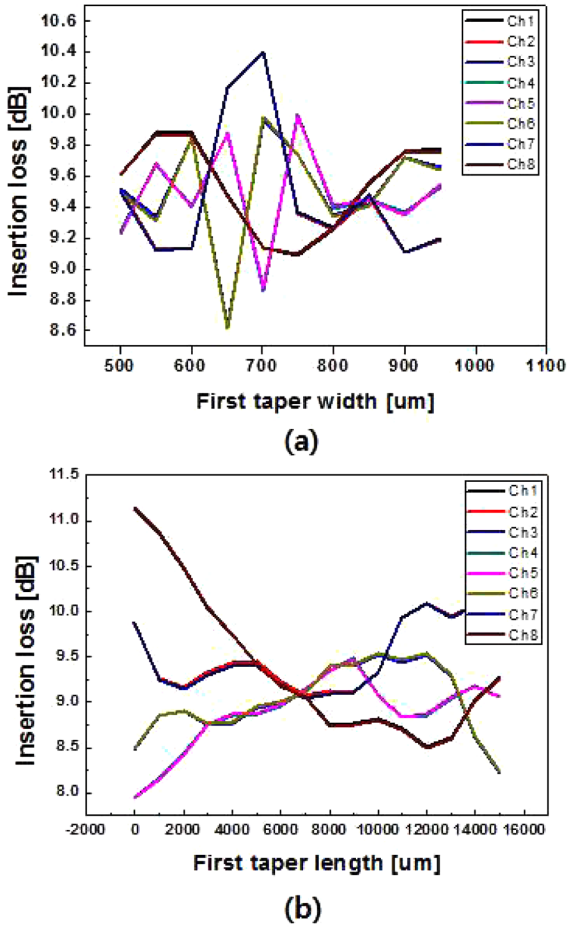

Fig. 2. (a) Simulation of output insertion loss according to first tapered MMI width (b) Simulation of output insertion loss according to first tapered MMI length.

tapered MMI 구간의 폭과 길이 인자로 각각 설정하였다. 첫 번째 테이퍼의 길이와 폭 변수에 대한 시뮬레이션 값을 입력하여 분배 효과 분석을 한 결과, 소자의 테이퍼 구간의 폭보다 길이가 더 큰 분배 효과를 갖는 지배적인 변수임을 알 수 있었다. 이와 같이 변수를 조합하여 최적의 조건을 도출하는 방법으로 시뮬레이션을 수행하였다.

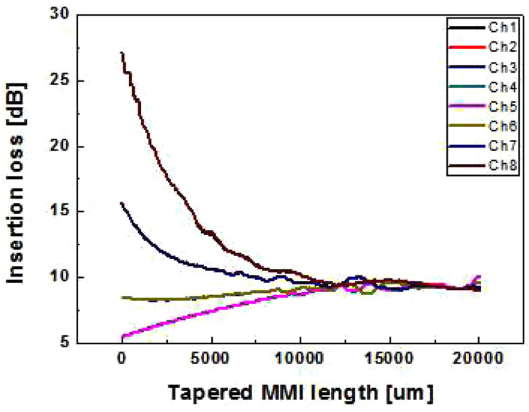

Fig. 3. The Output insertion loss as a function of the length of the second tapered MMI.

Fig. 2, Fig. 3과 같이 전산모의를 한 결과 1550 nm파장에서 첫 번째 테이퍼의 끝단의 폭은 800 μm, 길이는 7000 μm, 두 번째 테이퍼의 끝단 폭은 456 μm, 길이는 18180 μm에서 최적 결과를 얻었고, S-bend 곡률반경은 시뮬레이션 결과 Fig. 4와 같이 20000 μm이상부터는 손실이 거의 차이가 나지 않았지만 공정을 고려하여 50000 μm로 설정하였다.

Fig. 5는 최적 설계된 광 분배기의 광학적 성능 전산모의 결과로 1260 nm에서 1650 nm의 파장 영역에서 삽입손실과 균일성을 전산모의 한 결과 광 분배기의 특성을 Table 1과 같이 정의하며 항목[12-13]에 맞추어 특성을 전산모의 하였다.

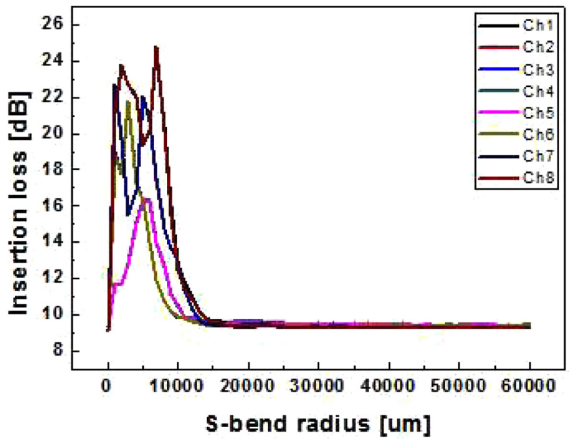

Fig. 4. Optimal radius for S-bend curvature.

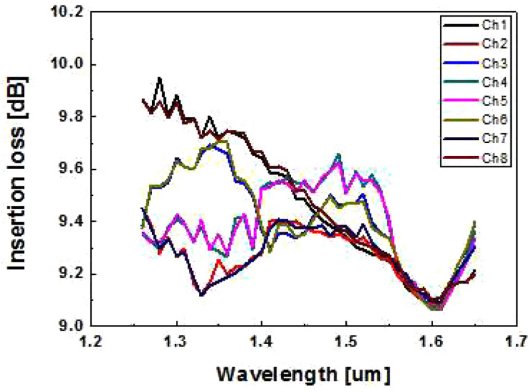

Fig. 5. The output insertion loss as a function of the input wavelength.

Table 1. Measurement of insertion loss and uniformity computation by wavelength

파장 [nm]	채널별 삽입 손실 [dB]								균일성 [dB]
	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6	Ch7	Ch8	
1260	9.8	9.4	9.3	9.3	9.3	9.3	9.4	9.8	0.5
1310	9.7	9.2	9.6	9.3	9.3	9.6	9.2	9.7	0.5
1550	9.2	9.2	9.3	9.3	9.4	9.3	9.2	9.2	0.2
1650	9.2	9.3	9.3	9.3	9.3	9.4	9.3	9.2	0.2

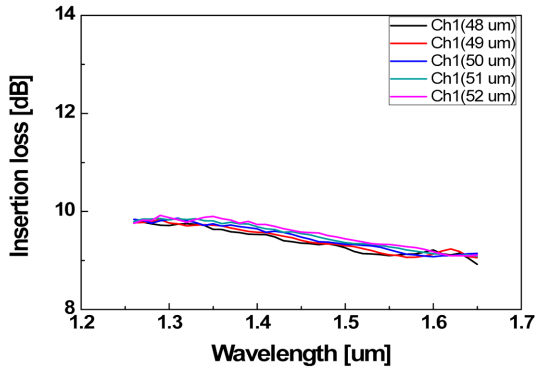

Fig. 6. Graph of tolerance insertion loss design in waveguide width with wavelength.

3. 파장 무관형 광 분배기 공차해석

금형을 위한 공차 설계 및 해석을 위해 최적 설계된 광소자 조건을 토대로 마스크 제작 공정 오차 ±0.2 μm및 마스터 제작 시 발생되는 에칭(etching) 공차 ±0.5 μm, Thermal imprint 공정 오차 ±0.5 μm, UV imprint 공정 오차 ±0.4 μm 등을 고려하여 도파로의 선폭을 1 μm씩 변화시키며 시뮬레이션 하였다. 그 결과 소자의 특성 목표 기준인 Insertion loss≤10 dB에 만족하는 공차는 ±5 μm인 것을 알 수 있었다. 높이가 50 μm로 고정되어 있는 경우에 대해 Fig. 6과 같이 도파로의 폭이라는 2차원적인 변수를 고려하였으나, 본 논문에서는 광 분배소자의 2차원 Beam propagation method (2D-BPM)의 해석 한계인 높이 의존성에 의한 특성 변화를 3차원 효과란 관점에서 해석하고 출력 특성 변화를 확인하였다.

2D-BPM을 사용한 2차원 해석의 결과에서 폭에 따른 삽입 손실은 최대 ±0.3 dB을 보이는데 반해 3D-BPM 해석의 결과는 최대 ±0.5 dB의 변화 폭을 가졌다. Fig. 6에서 코어 층의 높이에 따른 공정 오차는 ±5 μm이며, 폭에 의존하는 2D-BPM에 의한 결과 값과 유사한 삽입 손실 값을 보였다. 또한 도파로의 폭이 증가할수록 소자의 삽입 손실은 선형적으로 증가하지만, 높이가 증가할 때는

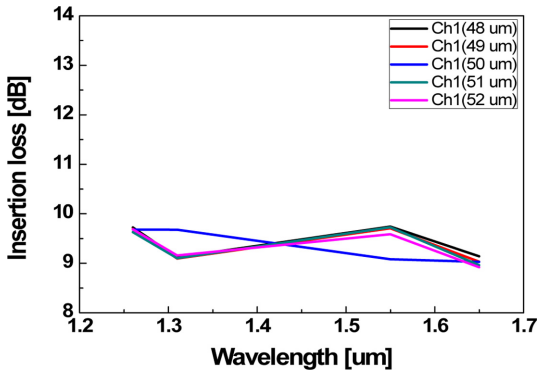

Fig. 7. Graph of tolerance insertion loss design in waveguide height with wavelength.

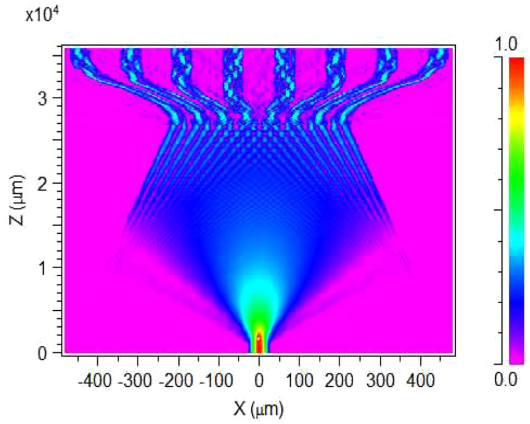

Fig. 8. Optimized 1×8 optical splitter structure.

광의 삽입 손실이 감소하는 것을 확인 할 수 있었다.

Fig. 8은 최종적으로 설계 된 광 분배기의 전산 모의 top view 이미지 이다.

4. 결 론

본 논문에서는 광 네트워크, 광 커넥션의 핵심 부품이자 FTTH 용 광통신 소자로 많이 사용되어지고 있는 1×N 광 분배기 소자를 기존의 Y-branch 방법이나 Mach-Zehnder 형태의 소자를 사용한 방법이 아닌 두 개의 테이퍼를 이용하여 설계를 하였고, 선정된 주요 변수 결과 값들을 입력하여 분석 결과, 1×N 광 분배기 소자의 경우 폭보다 길이가 더 큰 효과를 가지는 인수임을 알 수 있었다. 입력단과 출력단의 폭과 높이는 50 × 50 μm, 첫 번째 테이퍼의 길이와 폭은 각각 800 μm, 7000 μm, 두 번째 테이퍼의 길이는 18180 μm, S-bend 곡률반경은 50000 μm일 때 특성이 최대가 되는 설계 조건임을 확인하였다. imprint 공정 시 실제로 제작이 가능한 디바이스를 제조하는데 요구되는 제작 공차를 충족시키기 위해 공정 오차 설계를 수행하였고, 도파로의 폭과 높이의 충족 오차는 ±5 μm로 2D-BPM과 3D-BPM을 이용하여 설계된 광도파로 구조에 대한 폭 의존성과 높이 의존성을 해석함으로써 기존의 2D-BPM이 가지는 해석 한계와 높이에 따른 소자의 출력단 특성 변화를 살펴보았다. 그 결과 파장에 따른 각 채널의 출력 특성이 1.0 dB이하로 균일하게 측정되었으며, 삽입 손실은 최대 약 10 dB이하로 국제권고 규격(11 dB 이하)에 맞고, 상용화 할 수 있는 광학적 특성을 나타내는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 부산연구개발특구의 기술이전 사업화의 일환으로 수행하였음. (17BSI1016, 초연결 시대 대응 광네트워크용 광섬유 집적 평면형 광분배소자 개발)

References

1. D. M. Kim, J. H. Ryu, and M. Y. Jeong, “Optical Packaging and Interconnection Technology”, J. Microelectron. Packag. Soc., 19(4), 13 (2012).
2. T. H. Kim, S. H. Huh, and M. Y. Jeong, “Fabrication for Optical Layer and Packaging Technology of Optical PCB”, J. Microelectron. Package. Soc., 22(1), 1 (2015).
3. J. H. Ryu, D. M. Kim, E. S. Kim, and M. Y. Jeong, “Optical PCB and Packaging Technology”, J. Microelectron. Packag. Soc., 18(1), 7 (2011).
4. K. Jinguji, N. Takato, A. Sugita, and M. Kawachi, “Mach-Zehnder interferometer type optical waveguide coupler with wavelength-flattened coupling ratio”, Electronics Letters, 26(17), 1326 (1990).
5. C. M. Weinert, and N. Agrawal, “Three-dimensional finite difference simulation of coupling behavior and loss in multimode interference devices”, IEEE photonics technology letters, 7(5), 529 (1995).
6. W. P. Huang, C. L. Xu, and S. K. Chaudhuri, “A finite-difference vector beam propagation method for three-dimensional waveguide structures”, IEEE photonics technology letters, 4(2), 148 (1992).
7. K. S. Chiang, “Analysis of optical fibers by the effective-index method”, Applied optics, 25(3), 348 (1986).
8. C. Burtscher, D. Seyringer, and M. Lucki, “Study of the optical properties of 1 × 16 splitter based on Y-branch and MMI approaches”, Proc. 18th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), Trento, Italy, 1, IEEE (2016).
9. Z. Wang, Z. Fan, J. Xia, S. Chen, and J. Yu, “1× 8 Cascaded Multimode Interference Splitter in Silicon-On-Insulator”, Japanese journal of applied physics, 43(8R), 5085 (2004).
10. D. S. Levy, R. Scarmozzino, and R. M. Osgood, “Length reduction of tapered N x N MMI devices”, IEEE photonics technology letters, 10(6), 830 (1998).
11. K. A. Latunde-Dada, and F. P. Payne, “Theory and design of adiabatically tapered multimode interference couplers”, Journal of lightwave technology, 25(3), 834 (2007).
12. IEC 875-1 (Fiber optic branching devices Part 1: Generic specification, (1992).
13. Bellcore, “Generic Requirements for Fiber Optic Branching mponents”, GR-1209-CORE, ISSUE 1, NOVEMBER, (1994).