

평판형 AWG 기술을 이용한 광대역 파장다중화/역다중화 소자의 제작 및 특성

문형명[†] · 광승찬 · 홍진영 · 이길현 · 김동훈 · 김종진 · 최상열 · 이정길 · 이지훈

(주)피피아이

☎ 500-470 광주광역시 북구 대촌동 958-10

임기건

전남대학교 물리학과

☎ 500-757 광주광역시 북구 용봉동 300번지

김진봉

전남대학교 응용화학공학부

☎ 500-757 광주광역시 북구 용봉동 300번지

(2006년 8월 7일 받음, 2007년 4월 16일 수정본 받음)

평판형 AWG(Arrayed Waveguide Grating) 기술을 이용한 새로운 CWDM(Coarse Wavelength Division Multiplexer) 소자의 제작 기술을 제안한다. 슬랩 도파로 입력단에 나팔형태를 갖는 도파로에 대하여 광전파방법(BPM)에 의한 전산모사 결과와 투과대역이 평탄화된 20 nm 간격의 CWDM 소자의 제작 결과를 보고한다. 0.75 Δ%의 박막을 사용하였으며, 소자의 삽입손실은 가우시안 형태에 대하여 3.5 dB와 평탄화된 형태에 대하여 4.8 dB를 각각 얻었으며, 3 dB 대역폭은 각각 10 nm 및 13 nm 이상의 결과를 얻었다.

주제어 : Planar Lightwave Circuit(PLC), Wavelength Division Multiplexing(WDM), Coarse WDM(CWDM), Dense WDM(DWDM), Arrayed Waveguide Grating(AWG)

I 서 론

Ethernet 기술의 발전과 광통신 속도의 급격한 증가세로 WDM기술이 메트로망과 가입자망으로 확대되면서 CWDM-PON 기술의 활용이 점차 커지고 있다. CWDM-PON 기술의 핵심 부품으로 CWDM 소자가 필요하다. 기존의 필터형 CWDM의 기술도 많이 발달하여 소형으로 제작된 소자가 등장하고 있다.^[1] 그러나 소형 저가화를 위한 단순 조립형으로 제작하는데 한계가 있다. 평판기술을 이용하면 보다 저가 대량생산이 유리하여, 최근 평판형 도파로 제조기술을 이용한 소자 연구가 발표되고 있다. 이 중에 기존 DWDM용 AWG를 이용하여 출력되는 여러 파장을 다중모드에 하나로 묶어서 보내는 기술^[2]과 두 개의 DWDM용 AWG를 이용하여 하나의 AWG에서 투과되는 채널을 선택적으로 두 번째 AWG에 입력하여 선별하는 형태로 CWDM 소자를 제작하였으며^[3], 또한 lattice form filter를 이용하여 CWDM 소자를 제작하는 기술도 언급되었다.^[4] 그러나 위에 언급된 기술은 소자의 특성이 굴절률 변화에 민감하거나 멀티모드형태의 특수한 환경에 사용되는 형태로 국한되어 있다. 본 논문에서는 저가 소형이 가능한 PLC형 AWG 제작 기술을 이용하여 CWDM 소자를 구현하였다. DWDM의 AWG는 차수가 매우 크고 분해능을 높이기 위해 어레이의 개수를 많이 하였다. CWDM

의 특징으로 투과대역이 넓은 대신에 채널 도파로의 개수와 회절차수를 낮으므로 구조가 간단하며 제작이 용이하다.

평판형 어레이 격자 기술을 이용하여 넓은 채널 간격을 가진 파장 다중화 소자를 시뮬레이션하고 소자를 제작하였다. 실리콘 웨이퍼 기판을 이용하여 굴절률차를 0.75 %를 가진 실리카 광 도파 박막을 활용하여 CWDM 소자를 제작 및 특성을 살펴보았다.

II 본 론

1. CWDM 개요

본 연구는 20 nm의 채널 간격을 가지는 평탄한 통과대역의 CWDM 소자를 개발하기 위해 DWDM용 평탄한 스펙트럼을 가지는 AWG 설계 기술을 이용하였다. 이 소자는 입출력 슬랩 도파로와 채널 도파로로 구성되어 있다. 하나의 입력채널에 8개의 신호를 동시에 보내면 CWDM 소자를 지나면서 8개의 20 nm 간격의 파장으로 분할되며 통과한다.

이 소자의 개발에 일반적인 반도체 공정에 필요한 마스크 제작과 고정밀 광회로 증착 및 세공기술, 측정 및 패키징 기술이 포함되며, 이를 위한 시뮬레이션이 선행되어진다. 그림 1은 PLC CWDM소자의 개략도이다.

[†] E-mail: moonhm@ppitek.com



그림 1. 나팔형태 도파로를 가진 PLC-CWDM 소자의 개략도.

표 1. 8채널 PLC CWDM 설계 변수

Number of Output Waveguide	8
Number of Array Waveguide	72
Focal Length	8376 μm
Length Difference	5.3 μm
Diffraction Order	5
Channel Spacing	20 nm(2.5 THz)
Free Spectral Range	324 nm
Core Refractive Index	1.45669
Cladding Refractive Index	1.44572
Effective Index(channel)	1.45172

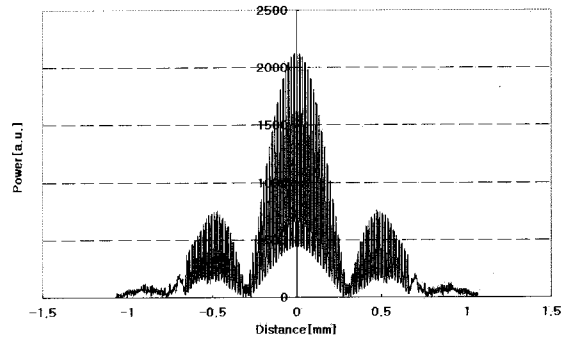


그림 2. 나팔 형태 도파로를 가진 첫번째 슬랩 도파로의 출력 광분포.

2. PLC CWDM 소자의 시뮬레이션

표 1과 같이 8채널 CWDM의 변수는 채널 간격이 20 nm 이고 DWDM용 AWG의 소자와 비교하여 투과대역을 넓히기 위해 채널 도파로의 개수는 72로 하고 회절차수인 5로 설정하고 FSR은 충분히 넓은 324 nm로 변수를 설정하고, BBV사의 BPM 시뮬레이션 프로그램인 Prometheus CAD 도구를 사용하여 마스크 layout을 설계하였고, 0.75 delta%를 사용하므로 코어의 크기는 6 μm 로 하였다. 광파의 진행과정을 구현하기 위해서는 Beam Propagation Method(BPM)를 이용하였으며, BPM은 광도파로 구조에 대한 해석이 용이할 뿐 아니라 광이 진행하는 축 방향을 수많은 평면으로 분할하여 어느 한 평면과 다음 평면의 굴절을 분포차에 근거하여 두 평면의 전계분포 연계를 통하여 CWDM의 광의 진행 과정을 구할 수 있다.^[6] CWDM은 세부적으로 입력 슬랩 도파로와 어레이 도파로와 출력 슬랩 도파로로 구분되어, 먼저 입력 슬랩 도파로를 BPM으로 시뮬레이션 하였다. 도파로 어레이의 각각에 대해, 전력과 위상이 도파가 충분히 결합되지 않는 위치에서 결정되어야 하고 연속적으로 각각 어레이 도파로에서 위상변화는 도파로의 광경로를 고려함으로 계산되어지고 마지막으로 두 번째 슬랩 도파로에서 파장의 함수로 BPM 시뮬레이션 되어진다. 이와 같은 방법으로 그림 3에서는 가우시안 형태와 평판형 형태를 시뮬레이션 결과로 보여주고 있다. 일반적인 형태가 가우시안의 형태이지만 평판한 형태를 가지기 위해서는 일반적으로 채널도파로 어레이 영역에서의 광경로차를 조절하여 출력 슬랩 도파로로 입사

되는 빛의 프로파일(profile)을 싱크 함수(sinc function)의 형상으로 만들어 준다. 다시 말하면, 출력 슬랩 도파로내에서의 회절 현상은 입사광이 출력면에서 푸리에 변환(Fourier Transform)으로 생각할 수 있으므로, 평판한 출력 프로파일을 얻기 위하여 입사광의 모양을 원하는 출력의 역 푸리에 변환(Inverse Fourier Transform)에 해당하는 싱크 함수의 모양을 갖게 한다. 이러한 방법에 의한 입사광의 모양을 얻기 위해서는 어레이 도파로의 길이가 부분적으로 반파장에 해당하는 길이만큼 차이가 나게 하고, 엔벨로프(envelope)에 맞추어서 손실을 의도적으로 주어야 한다. 따라서 이러한 방법은 어레이 도파로에서 주는 의도적인 손실에 해당하는 양만큼 전체 소자의 삽입손실이 증가된다. 이를 보정하기 위한 구조를 활용하였는데, 역할은 광파장 분할기가 입력슬랩 도파로의 입력면에서의 도파로 모드 프로파일이 출력슬랩 도파로에서 그대로 재생(reconstruction)되는 성질을 이용하여, 입력 도파로 모드의 모양을 더블 피크(double peak)모양으로 만들어 주고, 출력면에서 중첩적분에 의한 최종 주파수 응답이 평탄하도록 만들어 주는 방법^[6]을 사용하여 출력측 주파수 특성 곡선을 대역폭 내에서 최대한 평탄한 형태로 만들 수 있는 나팔형태 도파로의 구조를 그림 1과 같이 적용하였다. 구조는 입력측은 입력 광도파로와 외측으로 수직되게 확장된 입력단이 형성되고, 나팔형태 도파로를 입력슬랩 도파로로 연결되었다.^[7,8] 첫번째 슬랩 도파로의 광분포 곡선이 그림 2와 같이 단일 가우시안의 형태가 아닌 중첩된 형상의 분포로 나타나며, 이를 출력 슬랩 도파로를 통하므로 보다

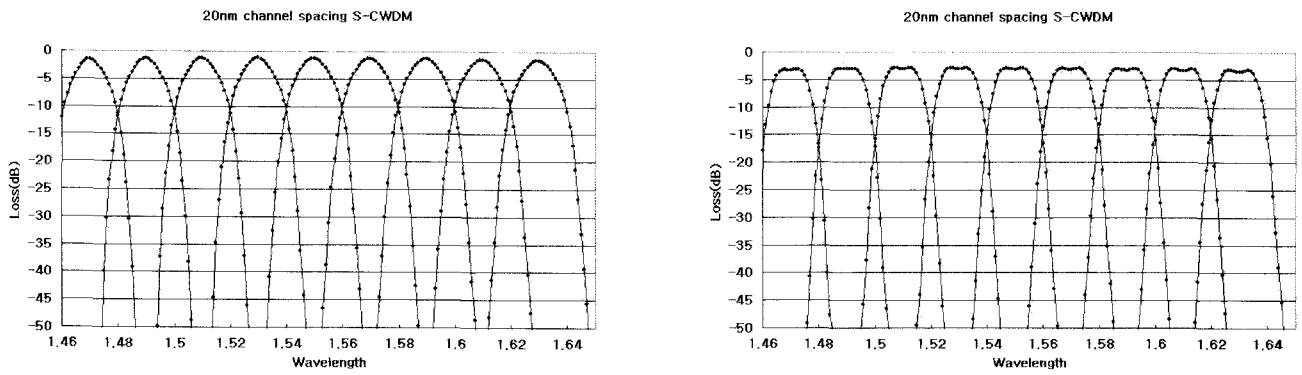


그림 3. 시뮬레이션의 CWDM 파장 특성 곡선.

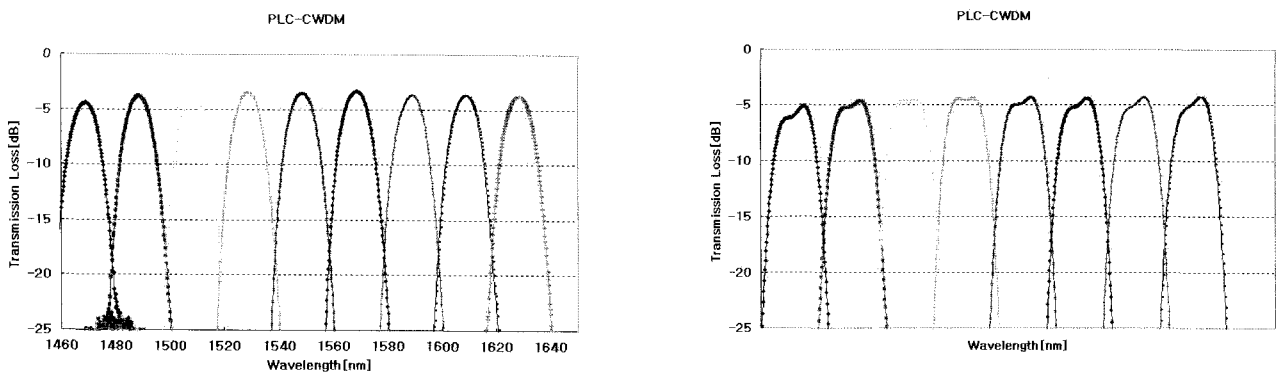


그림 4. CWDM 스펙트럼.

평탄한 형태의 구조가 생성된다. 이와 같은 최적화조건이 벗어나면 평탄성이 약해지며 쉽게 가우시안 형태로 이동되므로 실제 제작하는 공정과도 용도에 맞게 최적화가 필수적이다. 그림 3은 다중화를 위해 가우시안형태와 역다중화를 위한 평탄형 스펙트럼을 보여주고 있다.

3. CWDM 제작 및 측정

실리콘 웨이퍼를 기판으로 사용하였으며 균일한 클래드층을 증착하기 위하여 열 산화 공정으로 실리콘 산화 박막층을 성장시켰다. 클래드와 코어의 굴절율차는 0.75 delta%의 공정으로 진행하였으며 화학기상증착법에 의한 코어공정과 증착속도가 빠른 불꽃가수분해증착방법을 이용하여 상 클래드층을 공정을 진행하였다.

제작된 PLC CWDM의 스펙트럼을 가우시안 형태와 평탄한 통과대역 형태로 측정하였다. 그림 4는 8채널 가우시안 형태와 평탄대역을 가지는 PLC CWDM의 출력 채널을 측정한 결과이다. 전 대역을 측정하기 위해서 광대역 광원과 광파장분석기를 사용하였다. 가우시안의 형태의 CWDM의 경우 채널간격은 20 nm로 잘 일치하였으며 삽입손실은 3.1 dB, 채널간 누화율은 25 dB 이상이었으며 3 dB 대역폭은 10.4 nm로 채널간격의 50 % 정도이고 20 dB 대역폭은 22.8 nm이며 출력 값의 균일도는 0.9 dB이었다. 그림 5의 중심채널의 평

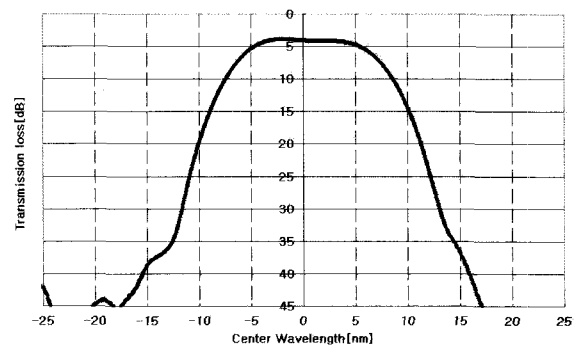


그림 5. Flat-CWDM의 중심스펙트럼.

탄한 통과대역을 보다 정밀한 특성 평가를 위한 파장 가변 광원을 이용하여 측정하였으며 삽입손실은 5 dB 이하이고, 채널간 누화율은 25 dB 이상이였으며 3 dB 대역폭은 13 nm 이상으로 요구 특성을 보였다. 편광의손실은 1 dB bandwidth에서 최소 0.5 dB에서 최대 2.2 dB까지 불균일한 특성을 보였다. 편광의손 손실을 낮추는 방안에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. 표 2에 가우시안과 평탄한 형태의 CWDM의 특성을 자세히 기록하였다. 그리고 평탄한 형태의 CWDM 스펙트럼은 전체가 평탄하게 나타나지 않은 이유는 채널 도파로에서의 위상 오차로 인하여 시뮬레이션의

표 2. 다중화 형태의 가우시안과 역다중화 형태의 평탄한 통과 대역의 PLC CWDM 특성

구 분	Gaussian-CWDM 형태(다중화용)	Flat-CWDM 형태(역다중화용)
0.5dB 대역폭[nm]	4.6	7.9
1dB 대역폭[nm]	6.4	9.7
3dB 대역폭[nm]	10.4	13.1
20dB 대역폭[nm]	22.8	22.7
삽입손실[dB]	3.5	4.8



그림 6. PLC CWDM 모듈 사진.

결과와 차이가 보이며, 위상오차 보정^[9]으로 단파장과 장파장대의 평탄성이 해결될 것으로 사료된다. 그림 6은 소자 칩과 광섬유를 연결한 후 패키징한 사진이며 크기는 8(두께) × 25(폭) × 76(길이)[mm³]이다.

제작된 PLC CWDM 소자의 시스템 측면에서의 활용성과 CWDM 시스템의 모니터링용 모듈의 핵심 부품으로 기대가 되고 있으며 필터 형태와 비교하여 크기 및 비용측면의 장점이 있는 반면 아직 주요 특성에서의 미흡한 부분은 향후 보완 및 개선이 필요하다.

III. 결 론

본 연구에서는 파장 다중화 실리카 광 도파로 소자로서 슬랩 도파로의 입력단에 나팔 형태의 구조를 활용하여 시물레이션하고, 평탄대역을 넓히고 20 nm 간격의 CWDM소자를 평탄형 도파로 제작 기술을 이용하였다. 0.75 delta%의 박막을 적용하였으며, 소형 평판으로 제작된 소자는 파장스펙트

럼 분석장치를 이용하여 특성을 측정하였다. 통과대역 소자의 삽입손실은 가우시안형태는 3.5 dB, 평탄형태는 4.8 dB 이고, 3 dB 대역폭은 각각 10 nm, 13 nm 이상의 결과를 얻었다. 또한 본 연구를 통해 평탄형 어레이 격자기술을 이용한 CWDM 소자의 제작기술을 제시하였고 도파로의 굴절률차를 키우면 보다 작은 구조의 소자의 제작도 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] J. J. Pan, Yousheng Wu, Joy C. Jiang, James Guo, Kejian Guan, and Yanfei Zheng, "Novel passive free space compact CWDM technology for outdoor applications," 2006 OFC NWD5.
- [2] S. Kamei, Y. Doi, Y. Hida, Y. Inoue, S. Suzuki, and K. Okamoto, "Low-loss and flat/wide-passband CWDM demultiplexer using silica-based AWG with multi-mode output waveguides," 2004 OFC Tu12.
- [3] Corrado Dragone, "Planar waveguide devices for efficient switching and wavelength routing," 2004 OFC Tutorial Tu11.
- [4] Y. Inoue, M. Oguma, T. Kitoh, M. Ishii, T. Shibata, Y. Hibino, H. Kawata, and T. Sugie, "Low-crosstalk 4-channel coarse WDM filter using silica-based planar lightwave circuit," 2002 OFC TuK6.
- [5] Daoxin Dai, Shuzhe Liu, Sailing He, and Qincun Zhou, "Optimal Design of an MMI coupler for broadening the spectral response of an AWG demultiplexer," *Journal of lightwave technology*, vol. 20, no. 11, November 2002.
- [6] Katsunari Okamoto, "Fundamentals of optical waveguides," *Academic Press*. pp. 360-363, 2000.
- [7] 최준석, 문형명, 오진경, 곽승찬, 최기선, 이길현, 김동훈, 정건, 이형중, "급격한 교차점을 갖는 파라볼릭 테이퍼를 이용한 AWG 파장필터의 평탄화 주파수 특성", Fpa-31, P475, 광전자 및 광통신 학술회의(COOC) 2003.
- [8] 곽승찬, 문형명, 이길현, 김동훈, 김종진, 홍진영, 이정길, 김진봉, 임기건, "저손실의 평탄한 통과대역을 갖는 CWDM용 8채널 광도파로열 격자소자의 제작", F3C-2, P321, 제13회 광전자 및 광통신 학술회의(COOC) 2006.
- [9] M. Kohtoku, Y. Nasu, and M. Abe, "Recent advances on laser processing in silica-based PLCs," 2006 OFC OWV1.

Performance of CWDM Fabricated by the PLC-AWG Technology

H. M. Moon[†], S. C. Kwak, J. Y. Hong, K. H. Lee, D. H. Kim, J. J. Kim, S. Y. Choi,
J. G. Lee, and J. H. Lee

Photonics Planar Integration Technology Inc., 958-10 Daechon Dong, Gwangju 500-470, Korea

[†]*E-mail: moonhm@ppitek.com*

K. G. Lim

Department of Physics, Channam National University, YongBong-Dong, Gwangju, Korea

J. B. Kim

Faculty of Applied Chemical Engineering, Channam National University, YongBong-Dong, Gwangju, Korea

(Received August 7, 2006, Revised manuscript April 16, 2007)

A novel technology for CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexer) utilizing a PLC (Planar Lightwave Circuit)-AWG (Arrayed Waveguide Grating) fabrication process is proposed. BPM (Beam Propagation Method) Simulation results on the employed parabolic-horn-type input slab waveguide of AWG and the performance of the 20 nm-channel spacing CWDM with flattened passband are presented. Waveguides of 0.75 $\Delta\%$ have been used in this experiment and the insertion loss at the peak wavelength is 3.5 dB for a Gaussian spectrum and is 4.8 dB for a flat-top spectrum. The bandwidth at 3 dB is better than 10 nm and 13 nm for Gaussian and flat-top spectra, respectively.

OCIS code : 060.0060, 060.4230, 230.0230, 230.7370, 230.7390.