

FBG를 이용한 OADM의 구현

김기중, 신희성, 손용환, 장우순, 정진호
 호서대학교 전자공학과
 전화 : 041-540-5663 / 핸드폰 : 018-201-0924

Implementation of the OADM Using FBG

Ki-Joong Kim, Hee-Sung Shin, Yong-Hwan Son, Woo-Soon Jang, Jin-Ho Jung
 Dept. of Electronic Engineering, Hoseo University
 E-mail : mikika@hanmail.net

Abstract

In this paper, we propose the OADM based on a Mach-Zehnder interferometer(MZI) with FBG(fiber Bragg grating) in the interferometer arms. The OADM using FBG and MZI is able to minimize system and reduce weight. We analyze output characteristics of OADM, and present the optimum design data through the computer simulation, and obtain the good experimental results. Also, the proposed OADM is suitable to DWDM(Dense WDM) system because it has the narrow linewidth..

I. 서론

현재 WDM 광통신 시스템에서 필수적인 소자인 광다중화기의 설계를 위해 널리 사용하고 있는 FBG와 MZI를 이용한 OADM을 설계하고 그 특성을 실험을 통해 고찰 하고자 한다. 이 OADM의 기본 동작원리는 파장이 중심파장에서 떨어진 정도에 따라 반사된 파장의 위상 차이에 의한 간섭 효과를 이용한다는 것이다. MZI구조의 OADM의 실험을 위해 현재 광통신 시스템에서 사용되고 있는 필터의 종류로써 광감광성 파이버에 아르곤 레이저를 조사하여 격자를 새긴 브래그 격자파이버와 대칭형 3dB방향성 결합기를 결합하여 제작하였다. 이 MZI구조의 OADM은 다른 형태의 필터에 비해 소형이고, 비교적 좁은 파장 대역폭을 갖고서

광 도파로로 구성되므로 WDM 광통신시스템에 사용되는 다른 소자와 기판을 공유할 수 있어 광 집적회로를 구성할 수 있다는 장점을 가진다. 또한 격자를 삽입하여 원하는 파장의 광 신호만을 추출할 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 결합모드 이론을 바탕으로 설계한 OADM의 특성에 대한 수치해석과 제작 및 실험을 통하여, OADM의 각 단의 동작 상태에 대해서 고찰하도록 한다.

II. OADM의 이론적 고찰

II.1 MZI의 동작원리

그림 1에서의 MZI 구조는 위쪽 파이버 와 아래쪽 파이버에 대해 ΔL 의 길이로 경로 차를 주어 발생하는 위상차의 원리를 이용하는 것이다. 이 때의 각 단의 입출력 특성은 각각의 3dB 커플러와 위상천이부의 곱으로써 다음 식의 형태로 표현될 수 있다[1,2].

$$\begin{bmatrix} E_{out1} \\ E_{out2} \end{bmatrix} = M_{3dB} M_{shift} M_{3dB} \begin{bmatrix} E_{in1} \\ E_{in2} \end{bmatrix} = M_{MZI} \begin{bmatrix} E_{in1} \\ E_{in2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 M_{3dB} 와 M_{shift} 는 각각, 3dB 커플러의 전달함수와 위상차 함수를 나타낸다.

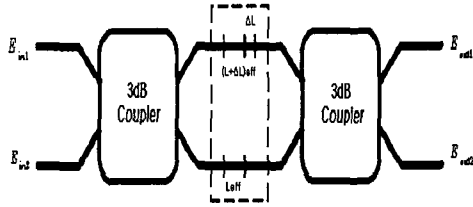


그림 1. MZI의 구조
Fig. 1. Structure of Mach-Zehnder interferometer.

만약, 입력되는 두 광신호를 E_{in1} , E_{in2} 라 하면 MZI의 출력 단에서 출력되는 광신호의 세기는 다음 식으로 된다[3].

$$P_{out1} = (E_{out1})^2$$

$$= \sin^2(k_1 \frac{\Delta L_{eff}}{2}) \cdot P_{in1} + \cos^2(k_2 \frac{\Delta L_{eff}}{2}) \cdot P_{in2}$$

$$P_{out2} = (E_{out2})^2$$

$$= \cos^2(k_1 \frac{\Delta L_{eff}}{2}) P_{in1} + \sin^2(k_2 \frac{\Delta L_{eff}}{2}) \cdot P_{in2} \quad (2)$$

즉, MZI로 입력된 두 파장사이에는 경로차에 의해 위상차가 발생하여, 각 단에는 보강과 상쇄간섭에 의해 하나의 파장만 출력되게 된다.

II.2 OADM의 동작원리

본 논문에서 제시한 OADM은 FBG와 MZI의 특성을 동시에 이용하여 입력신호 중 특정 파장의 신호를 추출하고, 또한 입력신호에 특정파장의 신호를 더하는 역할을 할 수 있다.[4]

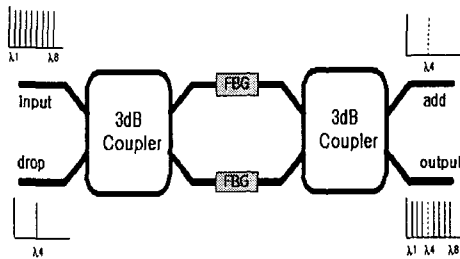


그림 2. OADM의 구성도
Fig. 2. Schematic of OADM device.

그림 2에서처럼 OADM의 입력 단으로 여러 파장의 신호가 입력되면, 그 신호는 양쪽 경로로 나누어져 MZI의 특성에 의해 $\pi/2$ 만큼의 위상차를 가지고 진행하고, 이들 신호 중 반사파장 신호 λ_1 는 FBG에 의해 반사되어 drop 단자로 분리되고, 나머지 신호는 격자를 통과하여 output 단자로 출력되며, add 단자로 입력된 신호는 격자에 반사되어 다시 output 단자로 출력되어, 초기 입력신호와 더해지는 기능을 하게 된다.

FBG와 MZI의 특성에 의해, 각 단에서의 출력특성을 수식적으로 나타내면 다음 식으로 된다[1,5]

$$Output = \left| \frac{e^{j(\phi_A + \phi_C)} + e^{j(\phi_B + \phi_D)}}{S_{22}} \times \frac{1}{2} \right|^2 \quad (3)$$

$$Add = \left| \frac{-e^{j(\phi_A + \phi_C)} + e^{j(\phi_B + \phi_D)}}{S_{22}} \times \frac{1}{2} \right|^2 \quad (4)$$

$$Drop = \left| \frac{S_{21}}{S_{22}} \times (e^{j2\phi_A} + e^{j2\phi_B}) \times \frac{1}{2} \right|^2 \quad (5)$$

여기서, S_{mn} 는 FBG의 전달 매트릭스로써, S 의 각 성분은 다음과 같다.[3,6]

$S_{11} = (1 - r^2)^{-1} [\exp(iqh) - r^2 \exp(-iqh)]$ 이며,
 $S_{22} = (1 - r^2)^{-1} [\exp(-iqh) - r^2 \exp(iqh)]$ 이고,
 $S_{21} = -S_{12} = (1 - r^2)^{-1} r [\exp(iqh) - \exp(-iqh)]$ 이다.
 또한, $\phi_A, \phi_B, \phi_C, \phi_D$ 는 각각 FBG의 전달과 후단에서 양쪽 경로에 의해 생긴 위상변화이며 h 는 격자 길이, r 는 유효반사계수를 나타낸다.

이들 식에서 MZI의 양쪽 경로가 동일한 경우, 위상변화 항을 고려하지 않아도 되지만, 경로가 동일하지 않은 경우에는 $\phi_A, \phi_B, \phi_C, \phi_D$ 의 크기가 변하게 되어 $\pi/2, \pi$ 가 되지 않기 때문에 상쇄간섭으로 출력이 나오지 않던 add 단자에서도 약간의 출력이 나오게 되고 다른 단자의 출력 특성도 다르게 나타나게 된다.

III. 시뮬레이션 수치해석

OADM의 동작특성을 고찰하기 위해, output 단자와 drop 단자의 출력특성을 식 (3), (4), (5)을 이용하여 그림 3, 4에 각각 나타내었다.

FBG의 특성으로 인해 1548nm의 파장은 반사되어 drop 단으로 출력되었고, 다른 파장은 output 단으로 출력됨을 알 수 있다.

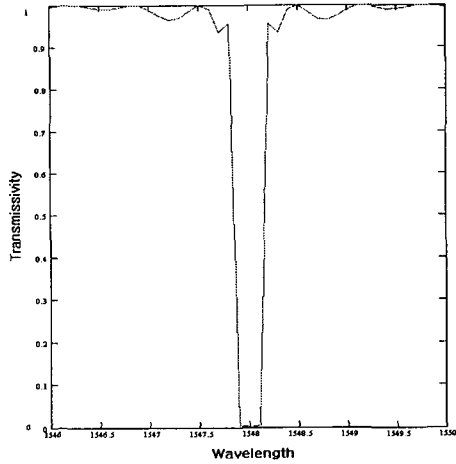


그림 3. OADM의 output 단에서 시뮬레이션 스펙트럼
 Fig. 3. Simulated spectrum in OADM's output port

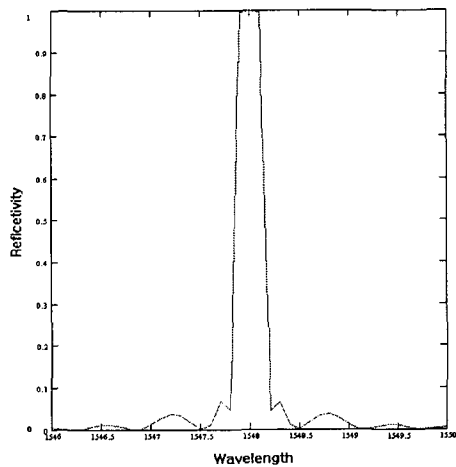


그림 4. OADM의 drop 단에서 시뮬레이션 스펙트럼
 Fig. 4. Simulated spectrum in OADM's drop port

IV. OADM의 특성 실험

본 절에서는 제작한 OADM을 실험을 통하여 측정함으로써 출력특성을 고찰하고, 컴퓨터시뮬레이션의 결과와 비교, 분석한다. 실험을 위한 구성도는 그림 5와 같으며, 실험결과 파형은 그림6, 7에 나타나 있다.

그림 6의 결과로부터, 1548nm 파장은 drop 단자로 출력되어 나오고, 이를 제외한 나머지 파장은 23[dB]로

감쇠 되었으므로 결국 output 단으로 전송되었음을 알 수 있다. 이를 검증하기 위해 그림 7에 output 단의 스펙트럼을 측정하여 나타내었다. 그림의 결과에서 drop 단자에 나타나지 않은 파장들이 output 단으로 출력됨을 알 수 있고, 1548nm의 파장은 34[dB]로 감쇠 되었으므로 이는 drop 단자의 출력으로 나타난 것을 알 수 있다.

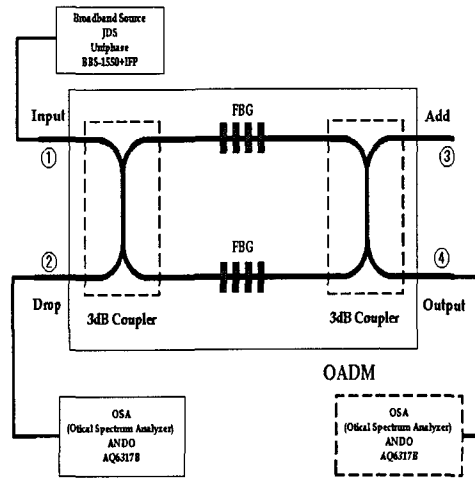


그림 5. OADM의 특성 측정을 위한 실험 구성도
 Fig. 5 Experimental setup for measuring of the OADM characteristics.

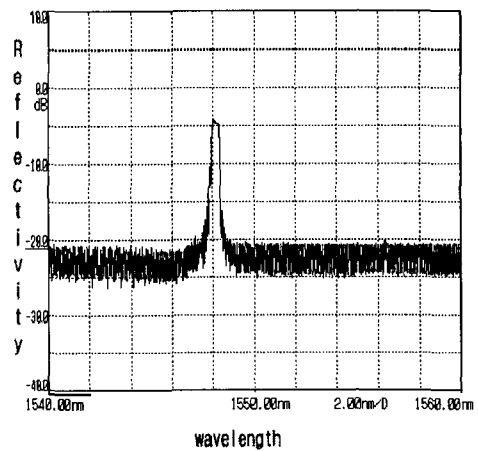


그림 6. MZI의 drop 단의 스펙트럼
 Fig. 6 Spectrum at the drop of MZI.

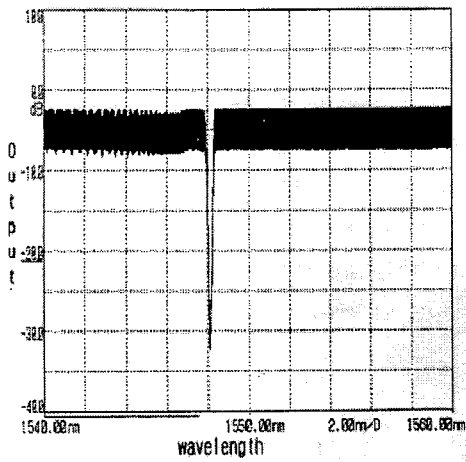


그림 10. MZI의 output단의 스펙트럼
 Fig. 7 Spectrum at the output of MZI

V. 결론

본 논문에서는 FBG와 MZI를 이용한 OADM을 설계하고, 이를 구현하기 위해 결합모드 이론과 파동방정식을 이용하여 FBG의 특성을 고찰하였다.

OADM의 동작특성을 수치해석을 통해 고찰하였으며 3dB 방향성 결합기, FBG 및 MZI를 이용하여 OADM을 구성하고 실험을 통해 수치해석 결과와 비교 분석하였다.

그 결과 특정파장(1548nm)만 drop 단자로 출력되어 나오고, 나머지 파장은 output 단으로 전송되었음을 알 수 있다. 또한, 접속 또는 경로차의 오차 등으로 인한 손실을 제외하면, 그 특성이 시뮬레이션을 통해 얻어진 결과와 동일함을 알 수 있었다. 따라서, 본 논문의 결과 데이터들은 OADM의 설계와 구현에서 유용할 것이다.

참고문헌

[1] 손용환, 신희성, 허주욱, 장우순, 정진호, "FBG를 이용한 DWDM용 광 Add-Drop 다중화기에 관한 연구", 대한전자공학회 하계학술대회 논문집, 제24권, 제 1호, pp. 237-240, 2001.
 [2] C. H. Huang, H. Luo, S. Xu and P. Chen, *Conference on Optical Fiber Communication*, pp. 79-81, 1999.
 [3] Govind P. Agrawal, and Andrew H. Bobeck,

"Modeling of istributed Feedback Semiconductor Lasers with Axially Varying Parameters", *J. of Quantum Electronics*, vol. 24, No. 12, pp. 2407-2414, 1988.
 [4] F. Bilodeau, D. C. Johnson, S. Theriault, B. Malo, J. Albert and K. O. Hill, "An All-Fiber Dense-Wavelength-Division-Multiplexor/Demultiplexor Using Photoimprinted Bragg Grating", *IEEE photon. Technol. Lett.*, vol. 7, No. 4, pp. 388-390, Apr. 1995.
 [5] M. Yamada and K. Sakuda, "Analysis of almost periodic distributed feedback slab waveguides via a fundamental matrix approach," *Appl. Opt.*, vol. 26, pp. 3474-3478, 1978.
 [6] Govind P. Agrawal and N. K. Dutta, *semiconductor Laser*, New York, van Nostand Reinhold, chap. 7. 1993.