Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers. Vol.11, No.5, pp. 407-412, 1998

평탄한 통과대역 특성을 갖는 위상배열 WDM 필터의 설계

논 문
11-5-11

Design of Phased Array WDM Filter with Flat Passband Characteristics

최대필*, 김남훈**, 정영철**
(Daepil Choi, Namhoon Kim, Youngchul Chung)

Abstract

In this paper, we design PHASAR(Phased Array) WDM(Wavelength Division Multi- and Demultiplexing) filters and evaluate their performance. The PHASAR WDM filter is designed to have flat-passband characteristics by inserting the multimode waveguides between input waveguides and a first star coupler. BPM simulation results show that the excess loss is smaller than 6.5 dB, the crosstalk is less than -22 dB and the 1 dB passband is about 50 GHz. The effect of the path difference error is also investigated.

Key Words(중요 용어) : AWGR(광도파로 격자 라우터), WDM(파장분할 다중화), BPM(빔전파법),Multimode waveguide(다중모드 도파로), Star coupler(성형결합기)

1. 서 론

초고속 정보산업의 기반으로 중요한 위치를 차지하는 광통신분야에서는 앞으로 도래할 각종 멀티미디어 서비스에 대한 폭발적인 수요증가로 인한 채널 부족 현상을 해결하기 위한 방안이 다각적으로 모색되고 있다. 특히, WDM(Wavelength Division Multiplexing)방식은 기존 통신망이 안고 있는 채널 용량 및 네트워크의 유연성문제를 해결해줄 수 있는 대안으로써 부각되고 있다.[1]

WDM 시스템을 구성하는 핵심 소자는 파장 다중화기/역다중화기로서 특히 위상 배열에 기반을 둔 소자인 PHASAR(Phased Array) WDM 필터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 일반적인 광파장 필터들은 주파수 응답 특성들이 채널의 중심파장에서 최대의 전달 특성을 갖고 파장이 중심 파장에서 이격됨에 따라 급속히 전달 특성이 열화되는 단점을 지니고 있다.

본 논문에서 설계한 필터는 평탄한 주파수 응답 특성을 얻기 위하여 입력도파로와 성형결합기 사이에 self-imaging 효과를 이용하는 다중모드 도파로를 삽입시킴으로써 일정한 광경로차를 갖는 도파로열을 거친 후 두 번째 성형결합기 출력측에 재생된 이미지와 도파모드와의 중첩적분을 통해 채널의 중심파장을 중심으로 평탄한 주파수 응답특성을 얻을 수 있다.

본 논문에서는 평탄한 주파수 응답을 가지는 광파장 필터를 구현하는 데 있어서 설계 과정 및 시뮬레이션 결과를 상세히 제시한다.

2. 평탄한 통과대역을 갖는 PHASAR WDM필터의 설계

PHASAR WDM 필터는 일반적으로 그림 1에 도시한 바와 같이 자유 전파영역인 두 개의 성형결합

* : 대우통신
** : 광운대학교 전자공학부/전자통신공학과
(서울시 노원구 월계동 447-1, Fax: 02-941-7855
E-mail : ychung@daisy.kwangwoon.ac.kr)
1998년 2월 24일 접수, 1998년 4월 20일 심사완료

기와 성형결합기를 연결하는 도파로열, 그리고 입출력 채널도파로의 세 영역으로 이루어져 있다. 이들의 동작을 살펴보면 먼저 임의의 한 입력도파로로 여기된 광파는 자유공간으로 이루어진 첫 번째 성형결합기에서 퍼져나가 인접도파로와 일정한 길이차를 갖는 도파로열을 거쳐 두 번째 성형결합기에 도달하게된다. 이때 도달된 광파들은 인접도파로간에 ΔL의 길이차를 가지는 도파로열을 거쳐왔기 때문에 파장에 따라 도파로간에는 위상차 ($2\pi n_{eff}\Delta L/\lambda$)를 일으키게된다. 따라서 두 번째 성형결합기에서 집속되는 광파의 상이 맺히는 위치에 영향을 주게되어, 같은 입력도파로에 여기된 다른 파장의 광파는 파장에 따라 서로 다른 출력도파로를 통해 전달되어진다.

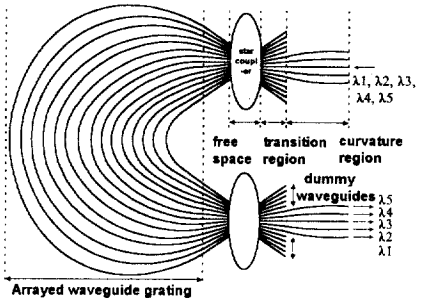


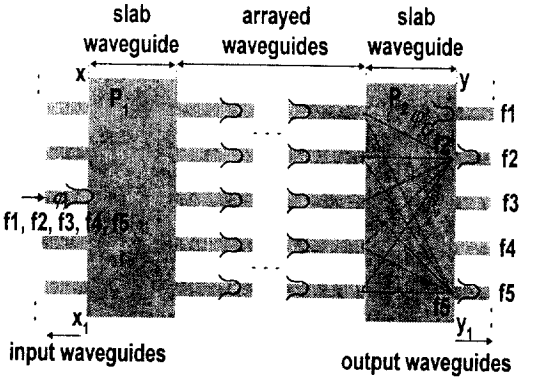
그림 1. 5x5 PHASAR WDM 필터의 개략도

Fig. 1. Schemetic layout of 5x5 PHASAR WDM filter

앞에 언급한 동작특성을 도식적으로 살펴보면 그림 2에 보인바와 같이 자유공간 영역인 P_1으로 입사된 입력도파모드는 두 번째 영역인 P_2에서 재생이 되고, 상이 맺히는 면 y-y_1상에서 파장변화에 따라 분산이 일어나게 된다. 출력도파로에 전달되는 광전력은 출력단면에 맺히는 상의 모드 $\varphi_o(y)$와 출력도파로의 도파모드 $\varphi_g(y)$가 중첩되는 양에 의해서 결정된다. 따라서 전달함수를 파장영역에서 표현하면 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$T(\lambda-\lambda_0)=[\int \varphi_0(y)\,\varphi^*_g(y-Y)dy\,]^2 \qquad (1)$$

식 (1)에서 Y는 파장변화에 따른 상이 맺히는 위치를 나타내며 λ_o는 최대 전달효율을 가질 때의 중심파장이다. 따라서 기존필터에서 출력단면에 맺힌 상, $\varphi_o(y)$는 단순히 P_1에 입사된 입력도파모드 $\varphi_i(y)$의 1:1 이미지가 된다. 따라서 기존의 광도파로 격자 라우터에서는 그림 2에 보인 바와 같이 포물선 형태의 파장 투과 특성을 보이게 된다. 한편 WDM 시스템을 효율적으로 구성하기 위해서는 파장 투과 대역이 평탄하도록 하는 것이 유리하다. 그러므로 본 논문에서는 그림 3에 보인바와같이 입력도파로와 성형결합기로 이루어진 자유공간 사이에 다중모드 도파영역을 삽입시켜 입력도파로로 여기시켜준 단일이미지가 입력단면에서 낙타등 형태의 이미지로 변환되게 설계한다. 변환된 이미지를 인접도파로와 일정한 길이차를 갖는 도파로열을 통해 전달시킨 후 출력단면에서 재생된 이미지와 출



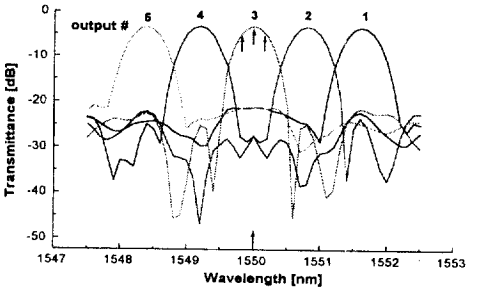
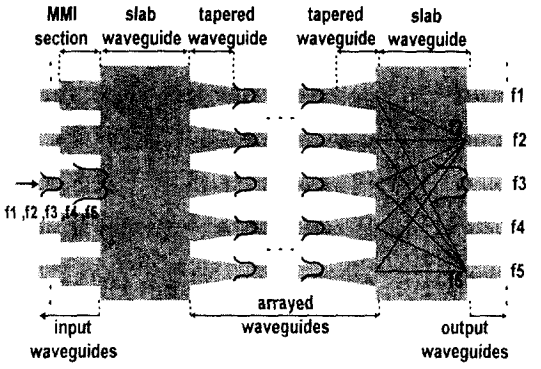


그림 2. 일반적인 PHASAR WDM 필터 및 동작 특성

Fig. 2. The conventional PHASAR WDM filter and its operation characteristics



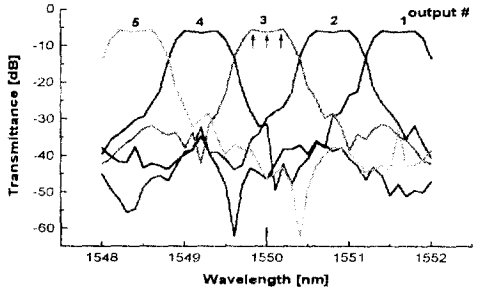


그림 3. 통과대역이 평탄한 PHASAR WDM 필터의 설계 개념도 및 동작특성

Fig. 3. The schematic design of PHASAR WDM filter and its operation characteristics.

력도파모드와의 중첩을 통해 평탄한 통과대역을 갖도록 하여 외부요인등으로 인한 광원의 발진파장변화에 대해서도 안정된 출력특성을 얻을 수 있다[2,3].

본 논문에서는 실리카 도파로를 도파구조로 하는 PHASAR WDM filter를 설계한다. 실리카 도파로의 단면구조는 그림 4에 보인바와 같이 단면이 가로 세로 6㎛인 정사각형 형태의 매립형 실리카 도파로이고 사용된 상대굴절률 차이는 0.75%이다.

이러한 구조의 선택은 인접 도파로와 독립적인 관계를 유지하여 상호결합으로 인한 채널간 누화를 감소시키고, 광파의 구속이 커짐에 따라 간결한 구조의 곡선도파로를 채용가능케하여 전체 광집적 회로의 크기를 소형화할 수 있는 장점이 있다.

그림 5와 그림 6은 본 논문에서 설계한 PHASAR WDM 필터에서 입력과 출력측에 놓인 성형결합기를 도시한 것으로, 그림 5의 입력측 성형결합기에서

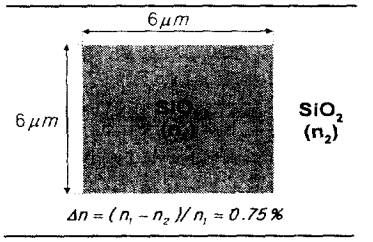


그림 4. PHASAR WDM 필터의 설계에 고려된 단위 도파로의 횡단면 굴절율 분포

Fig. 4. Cross-sectional refractive index distribution of unit waveguide considered in the design of PHASAR WDM filter

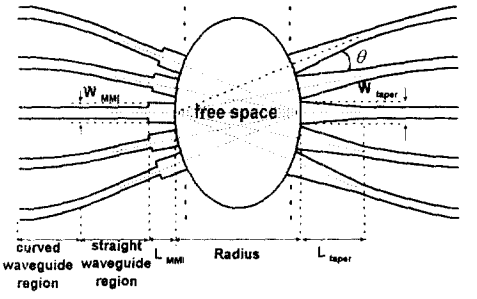


그림 5. 입력측 성형결합기의 상세도

Fig. 5. Details of input star coupler

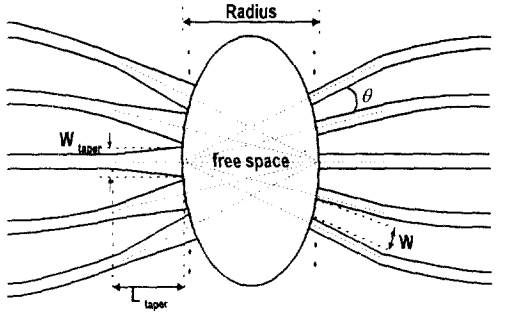


그림 6. 출력측 성형결합기의 상세도

Fig. 6. Datails of output star coupler

입력도파로와 자유공간사이에는 평탄한 통과대역 특성을 얻기 위해 다중모드 도파영역을 삽입하였고, 반경이 R 인 자유공간에서 퍼져나간 광파의 광전력을 광도파로열로 최대한 결합시켜 광손실을 최소화

하기 위해서 그림 5의 출력단과 그림 6의 입력단에 도파로의 폭을 확장한 테이퍼 구간을 삽입하였다.

각 구성요소들의 설계사양은 표 1에 나타내었다.

표 1. PHASAR WDM 필터의 설계사양

Table 1. Design specifications of PHASAR WDM filter

Radius(R)	3500 ㎛
다중모드 도파로의 폭 (W_{MMI})	20 ㎛
다중모드 도파로의 길이 (L_{MMI})	220 ㎛
테이퍼의 길이(L_{taper})	3500 ㎛
테이퍼의 폭 (W_{taper1}~W_{taper2})	22 ㎛ ~ 6 ㎛
채널도파로의 수	5
경로차 (ΔL)	318.8 ㎛
slab의 두께	6 ㎛
cladding 굴절율	1.48875
core 굴절율	1.5
slab 도파로의 유효굴절율	1.497416
Free Spectral Range	5.03 nm
channel spacing	0.8 nm(100 GHz)

그림 7은 삽입된 테이퍼 구간의 상세도이다.

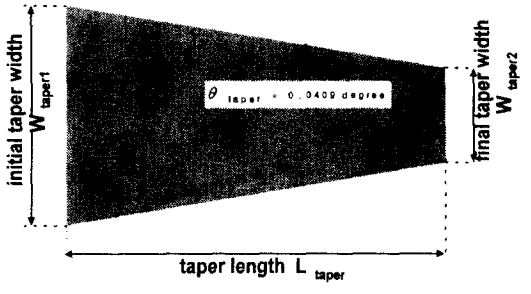


그림 7. 테이퍼 영역의 상세도

Fig. 7. Details of taper section

3. 전산모의 실험

표 1에 보인바와 같은 구조의 PHASAR WDM filter를 BPM[4][5]을 이용하여 전산모의 실험을 수행하였다. 전산모의 실험 과정에서는 그림 3의 입력측에 놓인 성형결합기의 전파특성을 BPM을 이용하여 해석한 후 각 도파로 출력단의 도파모드로의 중첩적분을 계산하였다. 도파로 열에서의 전파과정은 위상 factor(파장의 함수)를 곱하여 해결하였으며, 이렇게 벌어진 진폭과 위상의 도파모드가 그림 3에 보인 출력측의 성형결합기에 입사하였다고 가정하여 출력도파로 각 단에서의 광출력 특성을 추출하였다. 또한 BPM 전산모의 실험과정에서 성형결합기에 연결된 곡선도파로는 다음의 식과 같은 sine과 cosine 형태를 가지도록 설계하였다.

입력측 : $$x_{input} = qh\cos\left(\frac{\tan\theta}{h}z\right) + \frac{1}{2}X_w + qd \quad (2)$$

출력측 : $$x_{output} = qh\sin\left(\frac{\tan\theta}{h}\left(z - \frac{\pi h}{2\tan\theta} + 3R\right)\right) + \frac{X_w}{2} + qd \quad (3)$$

위식에서, q는 채널 번호로 중심 채널을 기준으로 ±(1, 2, 3...)의 값을 가지며 d는 직선 도파로 시작(입력측)과 끝(출력측)단에서의 도파로 중심간의 간

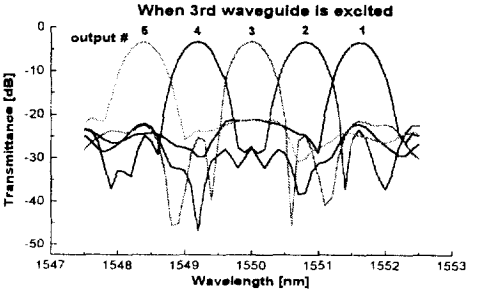


그림 8. 3 번째 입력 도파로 여기시 보통의 PHASAR WDM 필터의 주파수 특성

Fig. 8. Frequency response of conventional PHASAR WDM filter when the 3rd input waveguide is excited

격이다. 그리고 h는 곡선도파로의 offset값이고, X_w는 window 크기이다. 그림 8과 그림 9는 그림 5에 보인 입력측 성형결합기에서 입력단의 다중모드 도파로가 없는 구조에서의 주파수 응답특성으로 1 dB 통과대역이 약 25 GHz(0.2 nm)이고, 잉여손실은 약 4 dB정도가 됨을 알 수 있다.

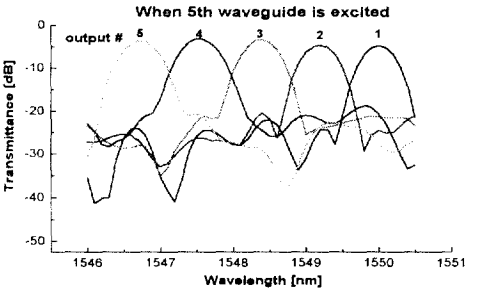


그림 9. 5 번째 입력 도파로 여기시 보통의 PHASAR WDM 필터의 주파수 특성

Fig. 9. Frequency response of conventional PHASAR WDM filter when the 5th input waveguide is excited

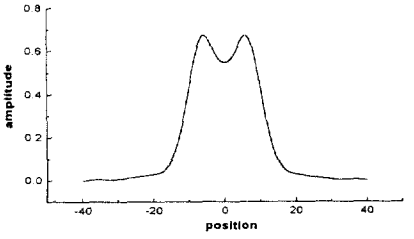


그림 10. 입력 단면에서의 필드분포

Fig. 10. Field distribution at input cross section

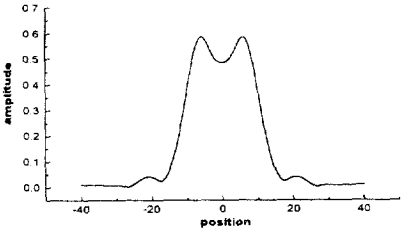


그림 11. 출력 단면에서의 필드분포

Fig. 11. Field distribution at output cross section

그림 10과 그림 11은 각각 그림 3의 첫 번째 성형결합기의 입력단면에서 다중모드 도파로를 거쳐 여기된 필드분포와 두 번째 성형결합기의 출력단면에서 재생된 필드분포를 BPM을 이용하여 전산모의 실험한 결과이다.

그림 12와 그림 13은 본 논문에서 평탄한 주파수 응답 특성을 얻기 위해 설계한 구조를 통해 BPM을 이용해 전산모의 실험한 결과이다. 설계된 평탄한 주파수 응답특성을 갖는 광도파로 격자 라우터는 약 6.5 dB 내외의 잉여손실과 -22 dB 이하의 누화, 그리고 약 50 GHz(0.4 nm)의 1 dB 통과대역 특성을

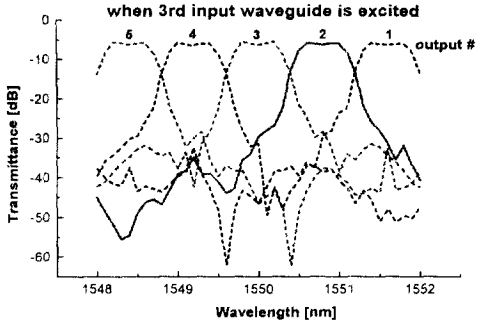


그림 12. 3 번째 입력 도파로 여기시 설계된 PHASAR WDM 필터의 주파수 응답

Fig. 12. Frequency response of the designed PHASAR WDM filter when the 5th input waveguide is excited

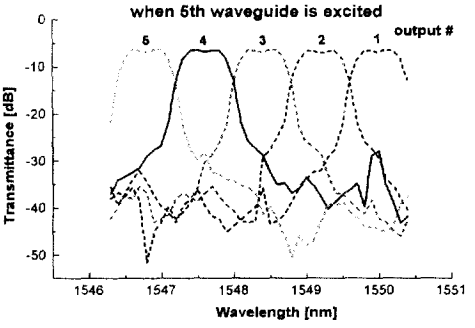


그림 13. 5번 입력 도파로 여기시 설계된 PHASAR WDM 필터의 주파수 응답

Fig. 13. Frequency response of the designed PHASAR WDM filter when the 5th input waveguide is excited

갖는 구조임을 전산모의 실험을 통해 확인하였다.

그림 14는 광도파로열에서 인접도파로간의 경로차 오차에 따른 잉여손실 값의 변화를 3번째 출력단의 중심파장인 1550nm에서 전산모사한 결과로써 실제 제작시 경로차 오차가 0.1 ㎛ 이내로 제한되는 경우에 안정된 출력 특성을 얻을 수 있음을 예상할 수 있다.

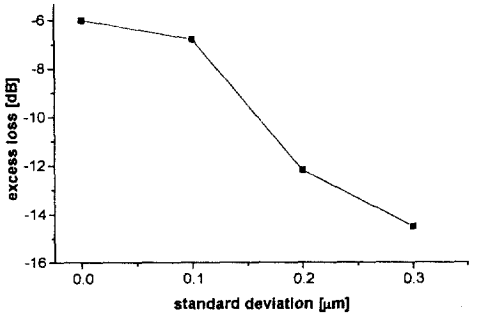


그림 14. 도파로열의 길이오차에 따른 손실 변화
Fig. 14. Loss variation according to length error of arrayed waveguides

4. 결 론

본 논문에서는 다중모드 도파로와 성형결합기로 구성된 광도파로 격자 라우터(Arrayed Waveguide Grating Router)를 설계하였고 BPM을 이용하여 성능평가를 하였다. 설계된 구조는 기존의 광도파로 격자 라우터가 안고 있는 광원의 온도 등의 외부변화요인에 따른 발진파장 변동에 의한 출력특성의 열화를 완화시키기 위한 방법으로 입력도파로와 첫번째 성형결합기 사이에 self-imaging 효과를 이용하는 다중모드 도파로를 삽입시켜줌으로써 출력단에서의 주파수응답 특성이 평탄한 통과대역을 가지도록 개선하였다.

BPM을 이용하여 설계된 구조에 대해 전산모의 실험한 결과 모든 채널에 대해 약 6.5 dB 내외의 잉여손실과 -22 dB 이하의 누화, 그리고 약 50 GHz (0.4 nm)정도의 1 dB 통과대역 특성을 보였다. 여기서 약 50 GHz의 통과대역은 채널간격(0.8 nm)의 약 50%에 이르는 것으로 본 논문에서 의도한바와 같이 온도 등의 외부요인에 의한 광원의 발진파장 변화에 대해서도 안정된 주파수응답 특성을 얻을 수 있음을 전산모의 실험에 의해 예측할 수 있었다. 다만 기존구조의 광도파로 격자 라우터의 출력에 비해 2.5 dB내외의 추가 광손실을 보이고 있지만 실제적으로 매우 안정된 광원의 사용은 시스템 구축시 경제성 면에서 다소 무리가 따르기 때문에 본 논문에서 설계한 평탄한 통과대역을 갖는 광도파로 격자 라우터에서는 발진파장특성이 다소 완화된 광원을 사용하여도 비교적 안정된 시스템 성능을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 시스템구성에 따르는 비용도 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 핵심전문연구비(981-0914- 072-2) 지원에 의해서 수행됨.

참 고 문 헌

1. Mein K.Smit, and Cor van Dam " PHASAR -Based WDM Devices : Principles, Design and Applications," IEEE J. Quantum Electron., vol. 2, no. 2, pp. 236-250 1996.
2. M. R.Amersfoort, C. R. de Beer, M. K. Smit, P.Demeester "Phased-arrayed wavelength de m-ultiplexer with flattened wavelength resp onse," Electron. Lett. vol. 30, no. 4, pp. 300-303, 1994.
3. J.B.D.Soole, M.R.Amersfoort, A.Rajhel, C. Caneau, R.Bhat, M.A. Koza, C.Youtesey "Use of Multimode Interference Couplers to Broaden the Passband of Wavelength-Dispersive Integrated WDM Filters", IEEE Photon.Technol. Lett., vol. 8, no.10, pp. 1340-1342, 1996.
4. Youngchul Chung and Nadir Dagli "An Assessment of Finite Difference Beam Propagation method," IEEE J. Quantum. Electron., vol. 26, no. 8, pp. 1335-1339, 1990.
5. 문성욱, 정영철 "성형결합기로 구성된 광도파로 격자 라우터의 설계방법에 관한 연구," 한국통신학회 제21권, 제9호., pp. 2526-2532, 1996