

다중 모드 간섭을 이용한 7채널 파장 다중화기 설계

김 형 태, 이 정 언, 김 광 응, 박 정 호
고려대학교 전자공학과 광전자연구실
전화 : 02-3290-3680 / 핸드폰 : 011-9725-8704

Design of 7 Channel Multimode Interference Wavelength Multiplexer

Hyoung Tae Kim, Jung Aun Lee, Kwang Woong Kim, Jung Ho Park
Dept. of Electronics Engineering, Korea University
E-mail : mooa@hotmail.com

Abstract

In this paper, the 7x7 MMI Multiplexer is designed. The 1x7 Splitter and the 7x7 Coupler are designed and the phase-matched array length is determined. Then this result is confirmed by the simulation considering the intermode coupling. The MMI Multiplexer has The 14nm operating wavelength region, the 2nm wavelength spacing and the 1x3mm² size.

simulation을 통해 최적의 값을 결정하였다.

장거리 통신에 이용되는 1550nm 파장을 중심으로 EDFA 이득 평탄화 영역대인 1544nm~1556nm의 14nm 동작 파장영역과 파장간격 2nm를 가지고 1x3 mm²의 넓이를 갖는 7 채널 MMI Multiplexer를 설계하였다. 기본 물질은 집적 광학에 실현하고 비교적 제조 기술이 발달해 있는 III-V 화합물 반도체인 GaAs/AlGaAs 이종접합 구조를 바탕으로 설계를 하였다.

I. 서론

현재의 정보화시대에 광통신의 중요성은 더욱 커지고 있다. 파장분할다중화(WDM)방식은 광통신 전송방식 중 현재의 기술로 상용화가 가능한 단계로 많은 전송시스템에 이용되고 있다. 본 논문에서는 파장분할 다중화방식에서 중요한 부분인 파장다중화기를 다중모드간섭을 이용하여 설계하였다. 7x7 MMI Multiplexer의 가장 핵심이 되는 Array의 길이를 계산 및 모드간의 간섭을 고려한

II. MMI Wavelength Division Multiplexers 원리

2-1 기본 구조와 작동원리

MMI Wavelength division multiplexer는 크게 1xN Splitter, Arrays, NxN Coupler의 3부분으로 이루어진다. 주어진 출력에서 파장이 선택되어지는

것은 도착한 신호가 그 출력에서는 보강간섭을 일으키고 다른 곳에서는 위상이 서로 틀려지기 때문이다. 이러한 결과를 얻기 위해서는 Array에서의 위상변화가 다른 MMI Coupler에서의 위상변화를 보상해줄 수 있도록 Array의 길이를 결정하여야 한다.

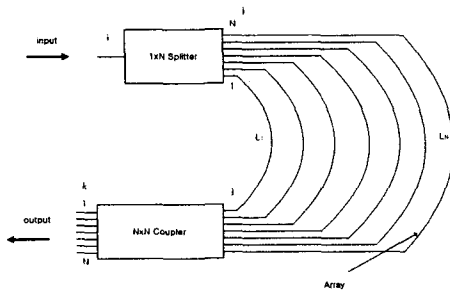


그림 1 Multiplexer layout

위상정합 되는 각각의 Array는 아래의 식과 같이 구해진다.[1]

$$L_j - L_m \cong d_j \Delta L \text{ for } j=1, \dots, N, \quad (\text{식 2-1})$$

$$d_j > d_m \text{ if } (j_2 > j_1 \geq m)$$

여기서 ΔL 은 이웃한 두 파장이 $2\pi/N$ 만큼 위상차이 나는 거리이고 d_j 는 거리차이를 결정하는 요인이다. 입력 j 와 출력 k 값에 따라 여러 개의 d_j 의 값이 결정될 수 있는데 그 중 다중화기의 크기를 최소로 하기 위해 가장 작은 값을 가질 수 있는 경우를 결정하여야 한다. 이와 같은 과정을 거쳐 결정된 L_j 의 값과 기준 파장에서 Splitter, Array, Coupler를 거치면서 위상정합 되도록 결정한 L'_j 값을 비교하여 L'_j 값이 최대한 L_j 에 가까운 값을 갖도록 결정하면 N개의 채널을 가지는 Multiplexer를 설계할 수 있다.

2-2 모드간 Coupling

모드간 상호 coupling은 광소자를 설계하는데 기본적인 고려 요인이다. NxN Coupler의 경우 N개의

입력에 의해 발생하는 각각의 모드들이 진행하면서 상호간의 Coupling이 발생하게 된다. 출력에서의 위상정합을 이루기 위해서는 모드간 Coupling에 의해 발생하는 위상변화의 요인들도 고려하여 Array의 길이를 결정하여야 한다.

III. 7x7 Multiplexer 설계

3-1 1x7 Splitter, 7x7 Coupler 설계

각각의 Splitter와 Coupler는 rib 타입으로 하였다. 입력 포트의 넓이는 3um로 결정한 후 7개의 입력이 가능하도록 Splitter와 Coupler의 넓이 40um로 하였다. 소자내의 도파되는 모드 수는 모드간의 간섭을 최소화 하고 MMI 특성을 얻을 수 있는 4개의 모드가 존재하도록 rib의 두께를 결정하였다. $x=0.1$ 이고 중심 파장 $\lambda=1.55\mu\text{m}$ 에서의 굴절률을 계산하면 $n_{\text{GaAs}}=3.3704$, $n_{\text{AlGaAs}}=3.3244$ 이다.[2]

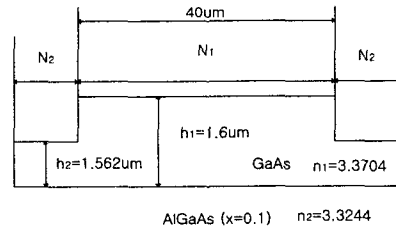


그림 2 모드 도파로 단면도

이와같은 구조에서 Splitter의 길이는 $3 \frac{L_x}{N} = 1.376\text{mm}$ 이고 7x7 MMI Coupler의 길이를 구하면 $3 \frac{L_x}{N} = 2.752\text{mm}$ 이 된다..

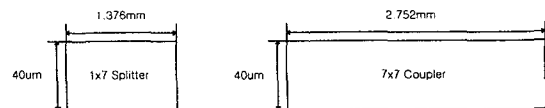


그림 3 Splitter, Coupler 평면도

3-2 7채널 Array 설정

3-2-1 Array factor d_j 와 출력별 파장 선택

중심파장 1.55um에서 위상 정합을 이루는 기준 출력 m 은 최소한의 소자 크기와 간단한 굴곡을 얻을 수 있도록 1번 출력으로 한다. $m=1$ 인 상태에서 각각의 j, k 에 따른 $\psi_{j,k}$ 와 d_j 를 구하여 최소의 값을 구하면 $k=6$ 일 때 $d_j=[0 \ 3 \ 4 \ 6 \ 8 \ 9 \ 12]$ 를 얻는다. $k=6$ 일 때 각 출력별 파장선택을 정하면 아래와 같다

출력k	1	2	3	4	5	6	7
$\psi_{5,k}$	0	5	2	3	4	1	6
파장 (um)	1.550	1.546	1.554	1.556	1.544	1.552	1.548

표 1 출력별 파장

3-2-2 ΔL 과 L_j 결정

Array의 폭은 3um이고 rib 타입의 중심높이는 MMI Coupler와 같은 1.6um로 하였다. Array내에는 단일모드만이 존재하도록 rib의 높이를 결정하면 다음과 같다.

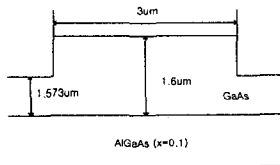


그림 4 Array 단면도

그림(4)와 같은 구조에서 1.552um 와 1.55um 두 파장이 $2\pi/7$ 의 위상차이가 나는 길이를 구하면 $\Delta L = 48.57um$ 이 나온다.

기준 Array L_1 는 Radiation Loss를 고려하여 반경이 200um인 반원의 길이로 결정하였다. d_j 와 ΔL 의 값을 식 (2-1)에 대입하여 L_j 를 구하면 아래와 같다

$$L_1 = 0.6283mm, L_2 = 0.7740mm, L_3 = 0.8226mm,$$

$$L_4 = 0.9197mm, L_5 = 1.0169mm, L_6 = 1.0655mm, L_7 = 1.2112mm$$

3-2-3 위상 정합 Array L'_j 결정

Multiplexer의 기준 출력 m 에서 위상 정합을 얻기 위해서는 j Array와 m Array를 거쳐서 오는 신호의 위상차가 2π 의 정수배가 되어야 한다. Splitter에서의 위상값 ϕ_j Array에서의 위상 변화 $\beta_j \times L'_j$ 그리고 Coupler에서의 위상값 $\psi_{j,k}$ 이라 하면 다중화기를 통한 위상변화는 다음과 같다.[3]

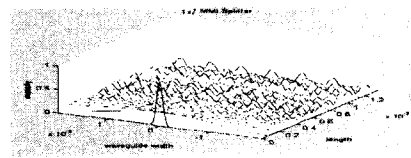
$$(\phi_j + \beta_j \times L'_j + \psi_{j,m}) - (\phi_m + \beta_m \times L_m + \psi_{m,m}) = 2\pi A_j \quad (A_j = \text{정수}) \quad \text{식 3-1}$$

L_j 에 최대한 가까운 값을 갖는 L'_j 를 식(3-1)을 이용하여 구하면 아래와 같다.

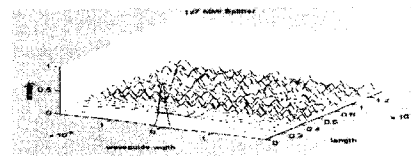
j	1	2	3	4	5	6	7
A_j	0	314	420	629	838	943	1258
L'_j (mm)	0.6283	0.7739	0.8225	0.9195	1.0169	1.0653	1.2109
$ L'_j - L_j $ (mm)	0	1.62×10^{-7}	5.09×10^{-8}	2.00×10^{-7}	3.09×10^{-7}	1.06×10^{-7}	2.18×10^{-7}

표 2 Array 길이

IV. 결 과

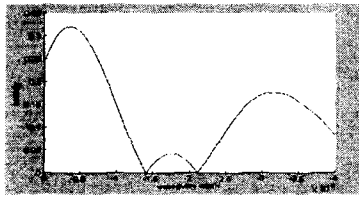


(a) 1544nm

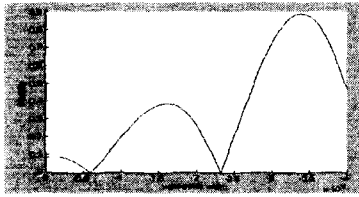


(b) 1556nm

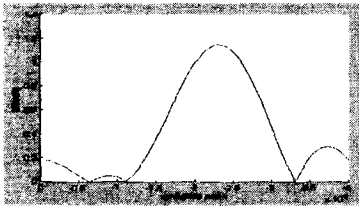
그림 5 Splitter 출력



(a) 1548nm (7번 출력)



(b) 1550nm (1번 출력)



(c) 1556nm (4번 출력)

그림 6 Coupler 출력

그림(5)의 Splitter의 결과를 보면 Splitter의 출력포트의 위치가 정해져 있어도 1544nm, 1556nm의 양쪽 끝 파장대에서 MMI Splitter의 출력의 파워분포 위치가 변하지 않는 것을 알 수 있다. 그러므로 Splitter에 연결되어 있는 Array를 통한 신호의 전달에서 파장에 의한 Coupling의 차이가 발생하지는 않는다.

그림(6)의 Coupler의 결과를 보면 각 파장별로 표1과 같은 출력분포를 이루는 것을 알 수 있다. 위상변화의 식은 입력과 출력의 위치가 바뀌어도 성립하므로 다중화기 설계의 입력과 출력의 위치를 바꾸면 역다중화기의 역할을 할 수 있다. 역다중화기의 경우 원하는 파장의 신호를 합할수 있는 Add/drop으로도 응용할 수 있다.

Array 길이는 계산에 의해서 구한 각각의 Array에서 Simulation을 통하여 결과를 확인하면서 보다 정확한 값으로 보정해 나갔다. 먼저 제작

마진을 고려하여 각 Array에서 0.1um의 차이를 랜덤하게 주어 출력의 값을 구하고 점점 작은 양으로 변화를 주면서 정확한 Array길이를 찾아나갔으며 결과는 다음과 같다.

$$L_1 = 6.2841\mu m, L_2 = 7.7387\mu m, L_3 = 8.2253\mu m$$

$$L_4 = 9.1957\mu m, L_5 = 1.0168\mu m, L_6 = 1.0652\mu m$$

$$L_7 = 1.2110\mu m \text{이다.}$$

V. 결론

파장분할 다중화 방식(WDM)에서 EDFA의 역할은 중요하다. EDFA의 이득 평탄화 영역은 1530~1560nm이므로 이 파장영역에서 보다 많은 파장의 구별하는 것이 파장분할 다중화 방식을 더욱 발전시킬 수 있는 핵심이 된다. 본 논문에서는 2nm 파장간격의 7채널 다중화기를 설계, 결과를 확인하였는데 다중 모드 간섭(MMI)을 이용한 다중화기의 경우 높은 파장선택성(1~2nm)과 넓은 동작 파장영역(20~30nm)으로 인해 WDM에 알맞은 광소자를 제공할 수 있다는 것을 알 수 있고 앞으로 더욱 많은 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] Mohammad R. Palam and Robert I. MacDonald, "Design of phased-array wavelength division multiplexers using multimode interference couplers" *Applied Optics*, Vol. 36, No. 21, pp.5097-5108, 20 July 1997.
- [2] Robert G. Hunsperger, *Integrated Optics: Theory and Technology* 3rd ed. ch.4
- [3] M.Bachmann, P.A. Besse, and H.Melchior, "General self-imaging properties in NxN multimode interference couplers including phase relation", *Applied Optics*, Vol. 33, No. 18, pp.3905-3911, 20 June 1994.