

새로운 기능의 집적형 광 Filter의 개발에 관한 연구

제 2부 : 광필터의 제작 및 특성의 개선

(Development of Integrated Optical Filter with New Function -Part 2 : Fabrication and Improvement of Optical Filter)

金 東 一*, 内藤喜之**

(Dong Il Kim and Yoshiyuki Naito)

要 約

본 논문의 제 1부에서 제안한 광 filter를 제작하고, 실측을 통하여 제작오차 및 분파특성을 평가한다. 또한, 제작오차의 영향을 제거하기 위하여 제안하는 새로운 기능의 집적형 광 filter의 제작법을 확립시키고, 실험적으로 그 동작을 입증하고 있다.

Abstract

In this Part II of the paper, we evaluate the fabrication error and dividing characteristics for the optical filters proposed in the Part I. Furthermore, we propose an integrated optical filter with a new function that can eliminate the fabrication error. The fabrication method and filtering characteristics have been tested by experiments, thereby confirming the validity of the design theory.

I. 서 론

파장다중 통신방식은 장차 고도정보 시스템의 실현에 있어서 대단히 유효한 방식으로, 광통신 system에 있어서 파장다중 방식을 충분히 효율적으로 활용하기 위해서는 laser의 파장 안정화와 광분파 filter, 광감쇠기, optical isolator 및 circulator 등의 광소자

의 집적화가 요망된다.

지금까지의 광분파기로서는 간섭막 filter 또는 회절격자를 이용한 것이 광 미세회로소자로서 실용화 단계에 이르고 있으나,¹⁾ 이들은 모두 집적화에는 적합하지 못한 구조를 가지고 있다. 또한, 비교적 근접한 파장간의 분파를 목적으로 한 집적형 광 filter에 대하여는 약간의 검토가 행해져 왔으나,^{2),3),4)} 상당히 넓은 파장간격의 광의 분파가 가능한 광 filter에 대하여는 거의 연구되어 있지 않다.

따라서, 본 논문에서는 GaAs계 레이저의 발진주파수에 해당되는 0.8 μ m 및 0.9 μ m, InP계의 1.3 μ m 및 1.5 μ m 파장의 파장간격이 충분히 넓은 광의 분파를 행하는 집적형(도파로형) 광 filter에 대한 이론적 설계법을 제안하고, 실험적 검토를 통하여 새로운 기능의 집적형 광 filter를 개발하였다. 제 1부에서는 Rib 도파로 직결형 방향성 결합기⁵⁾의 주파수 특성을 이용한

*正會員, 韓國海洋大學 電子通信工學科

(Dept. of Electronic and Communication Engineering, Korea Maritime Univ.)

**東京工業大學 電氣電子工學科

(Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Tokyo Institute of Technology, Japan)

接受日字 : 1986年 4月 25日

(*본 연구는 한국과학재단의 1985년도 전반기차관연구 지원에 의하여 이루어졌음.)

집적형 광 filter의 설계법에 관하여 설명하였으며, 본 제 2부에서는 제 1부에서 설계한 광 filter를 실제로 제작하여 실측하고, 특히 분파특성의 개선방법에 관하여 실험적인 검토를 행한다.

II. Filter의 제작

분파 filter의 제작 과정은 크게 나누어, glass film의 제작, Lift-off법에 의한 mask의 제작, Ar sputter-etching의 3공정으로 이루어지며, 본 절에서는 각각의 공정에 대하여 설명한다.

1) Glass film의 제작

(1) 세척 (cleaning)

Vycor glass 기판을 2.4cm×3.2cm 되도록 잘라서 증성세제로 씻은 후 중류수, Ethyl Alcohol, Trichloroethylen(C₂HCl₃), Aceton에 각각 10분간씩 초음파 세척을 행한다.

(2) Ar sputter에 의한 film의 제작

Corning 7059 glass를 target로 하고, Ar sputter에 의하여 4시간 동안 기판위에 퇴적시킨다(그림1(a)). 이때 sputter 조건으로서는 Ar 분압 2×10⁻³ Torr, 잔류 가스압 2×10⁻⁴ Torr, 가속전압 2KV, RF 주파수 13.56MHz이다. 이에 의하여 약 1μm의 Corning 7059 glass film이 얻어지며, 이 공정이 끝난 시점에서 film thickness 및 굴절율을 m-line method⁽¹⁾에 의하여 측정한다.

2) Mask의 제작

(1) 세척 및 resist 도포

Trichloroethylen 및 Aceton에 각각 10분간씩 초음파 세척을 행한 후 120℃에서 5분간 baking 한다. 다음에 전자비임 로광(Electron Beam exposure, EBX)용 photo-resist체 PMMA(OEBR-1000)를 200rpm, 30초의 조건으로 spin coating하여, 약 0.8μm의 resist 막을 얻는다(그림1(b)). 다시 200℃에서 30분간 pre-baking 한다.

(2) Al 증착

전자비임에 의한 대전을 방지하기 위하여 진공증착에 의하여 Al을 약 120 Å 증착 시킨다. 증착조건은 잔류 가스압 8×10⁻⁶ Torr, 전류 20A, 증착시간 90초로 한다.

(3) EBX 및 현상

EBX에 의하여 pattern을 작성하고, NaOH 수용액으로 Al을 제거(5~10분)한 후, 중류수로 씻는다. 현상액에 90초간 넣었다가 isopropanol로 rinse한다(그림1(c)). 그림 2는 실험에 사용한 EBX 장치를 나타낸다.

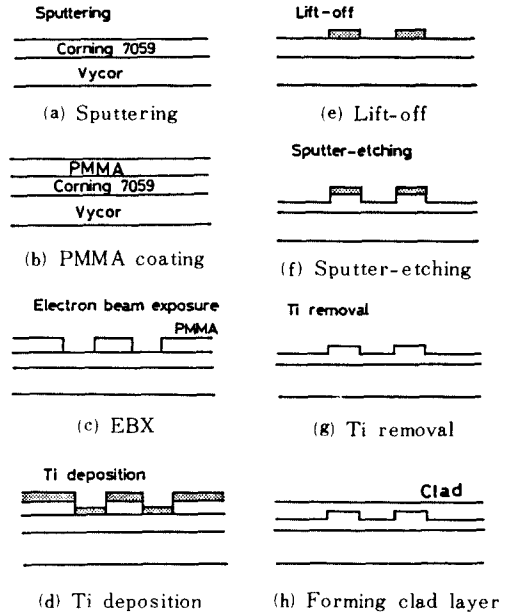


그림 1. 제작과정
Fig. 1. Fabrication process.

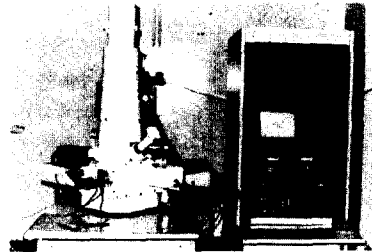


그림 2. 전자비임 로광장치
Fig. 2. Photograph of EBX Installation.

(4) Ashing

인가전압 1KV, 200 m Torr의 N₂ gas압에서 15초 동안 방전시키므로써 positive상 위에 남아있는 resist의 찌꺼기를 제거한다.

(5) Ti 증착

잔류 가스압 8×10⁻⁶ Torr, 전류 100A, 증착시간 90초의 조건하에서 두께 약 4000 Å의 Ti층을 만든다(그림1(d)).

(6) Lift-off

Ti를 증착시킨 기판을 약 1시간 정도 acetone에 담근 후, 현미경으로 관찰하여 도파로 부근에 Ti이 남아있으면 초음파 세척기로 가볍게 lift-off한다(그림1(e)).

3) Etching

(1) RF Ar Sputer-etching

Ar 분압 2×10^{-3} Torr, 가속전압 2KV의 조건하에서 약 30분간 sputter-etching을 행한다(그림1(f)). 이 경우 etching rate는 Corning 7059 glass에 대하여 $0.5 \mu\text{m}/\text{hour}$, Ti에 대하여 $0.24 \mu\text{m}/\text{hour}$ 이다.

(2) Mask의 제거

증류수 약 10ml에 NaOH의 결정 약 10~20개를 녹여서, 10ml의 H_2O_2 를 가한 혼합액으로 Ti를 제거한다(그림1(g)).

4) Clad 층의 형성

광도파 손실을 감소시키기 위하여 PMMA를 도포하여 clad 층을 형성한다(그림1(h)). 즉, (2)에서 설명한 바와 같이, 세척 및 resist 도포를 행하여 clad 층을 만든 후, 프리즘으로 광을 입력시키기 위하여 입력 도파로 부근의 resist를 제거한다.

III. 실험 및 검토

1. 실험방법

전력 분배율 측정계는 그림 3 과 같으며, 소자에의 광의 입력에는 prism을 이용하였다. 광원으로서의 발진파장 $0.6328 \mu\text{m}$ 또는 $1.152 \mu\text{m}$ 의 He-Ne laser 및 $0.50 \mu\text{m} \sim 0.615 \mu\text{m}$ 의 파장가변 색소 레이저(tunable dye laser, Chromatix CMX-4)를 사용하였다. 광원으로부터 나온 광은 1/4 파장판(polarizer)을 통하여 TM파로 편광된다. 소자의 출력 도파로로부터의 출력광 측정은 각각의 출력도파로에 glass cutter로 상처를 내어, 출력광을 TV camera를 써서 TV 화면에 monitoring 하면서 X-Y recorder로 기록하여 측정하였다.

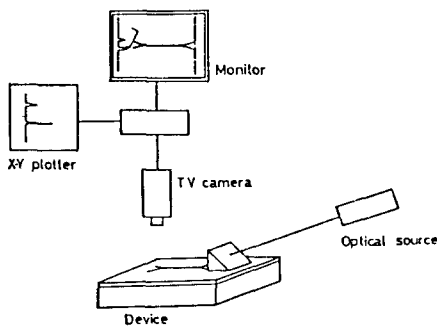


그림 3. 측정계
Fig. 3. Schematic diagram of measuring system.

2. 실험 및 특성의 개선

제 1부의 II장에서 설계한 분파 filter를 앞에서 설명한 방법으로 제작하여 그 칫수를 측정된 결과, 3 종류 모두 결합부의 길이(coupling length)가 설계치보

다 약 0.3mm 길다는 것을 알았다. 이것은 입출력 도파로의 간격이 좁은 부분이 전자비임 로광의 과다로 인하여 유착되기 때문으로 분석된다. 표 1은 각분파 filter의 설계치수와 제작된 칫수의 예를 나타낸다.

표 1. 제작된 필터의 칫수
Table 1. Dimensions of fabricated filters .

	설계 칫수		제작된 칫수	
	L (mm)	W (μm)	L (mm)	W (μm)
초단 filter	1.899	4.2	2.189	4.2
0.8-1.3 μm 분파 filter	0.5315	4.5	0.835	4.9
0.9-1.5 μm 분파 filter	0.5959	5.1	0.915	5.3

그림 4 및 그림 5는 표 1에 나타낸 분파 filter의 전력 분배 특성예이다. 그림중 곡선은 제작오차를 수정하여 계산한 우·기 mode별에 의한 이론곡선이다. 이들 측정예에 있어서는 전력 분배율의 주파수 의존성은 확인할 수 있으나, 이론치와 측정치가 일치한다고는 말할 수 없다. 따라서, 본 문헌에 제안한 광 filter의 특성의 결합부 길이에 대한 의존성에 관한 실험을 행하였다. 이 실험의 목적은 다음과 같다.

(1) 광원의 종류가 제한되어 있기 때문에, 파장을 변화시키는 대신에 결합부의 길이를 변화시킴으로써 동

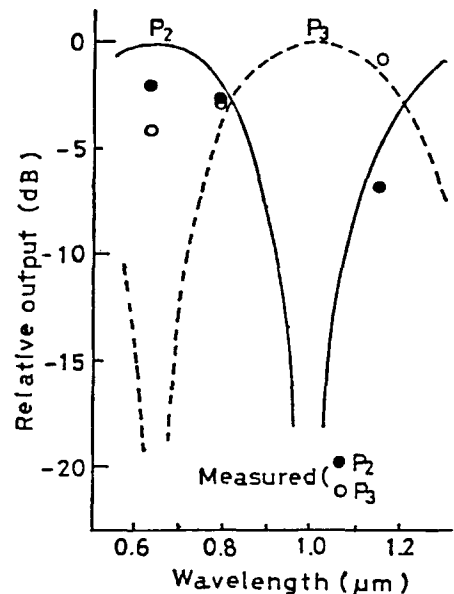


그림 4. 0.8-1.3 μm filter의 전력분배율의 측정치
Fig. 4. Measured power dividing ratio of 0.8-1.3 μm filter.

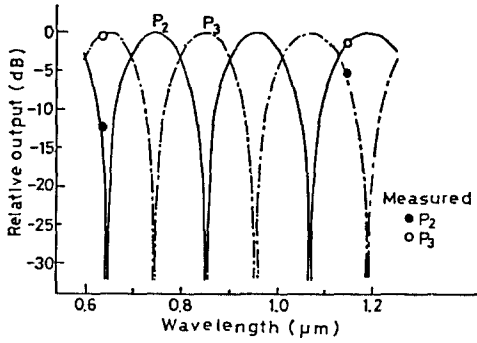


그림 5. 초단filter의 전력분배율의 측정치
 Fig. 5. Measured power dividing ratio of first-stage filter.

작원리의 타당성을 확인한다.

(2) 사용 가능한 2 종류의 파장, 즉 $0.6328\mu\text{m}$ 및 $1.152\mu\text{m}$ 의 광에 대하여 충분히 작은 crosstalk 특성을 가지는 filter의 첫수를 찾아낸다.

실험은 선로폭($W=5.2\mu\text{m}$), strip의 높이($H=0.5\mu\text{m}$), film의 두께($D=0.7\mu\text{m}$)를 공통으로 하고, 결합부의 길이만 서로 다른 5 종류의 filter를 제작하여 위에 기술한 실험방법에 의하여 분파특성을 측정하였다. 그 측정결과를 그림 6 및 그림 7에 나타낸다. 그림중의 횡축은 제작오차까지를 고려한 결합부의 실효길이이며, 곡선은 우·기 모오드법에 의한 이론치이다. 이론곡선과 약간의 차이는 있지만, 결합부의 길이에 대한 출력특성의 의존성은 명확하게 나타나 있으며, 양호한 crosstalk 특성이 얻어짐을 알 수 있다. 즉, 광원의 제한으로 여러가지의 파장을 이용하여 실험을 행할 수는 없었지만, 이 실험에 의하여 제안한 filter의 동작특성을 확인할 수 있었다.

이상의 실험에 있어서, 이론치와 측정치의 불일치는 제작오차로 인한, 제작된 filter와 설계 model의 형상의 불일치가 원인인 것으로 사료된다. 따라서, 이들 형상의 불일치를 해결하는 방법을 제안하기로 한다. 즉, 입력 도파로에 있어서의 도파로간의 결합으로 인한 고차 mode의 영향 및 형상의 차이를 동시에 제거하는 가장 유력한 방법으로는 불필요한 port 4를 제거하는 것이다. 또한, 출력 도파로의 형상의 불일치로 인한 오차를 감소시키기 위하여는, 그림8과 같이 출력 도파로의 폭을 결합부의 폭의 1/2보다 좁게 하여 도파로간의 유착을 방지하면, 이론치와 일치하는 분파특성을 가지는 새로운 기능의 분파 filter의 설계가 가능함을 실험에 의하여 확인하기 위한 다음의 실험을 행하였다. 즉, 새로운 기능의 집적형 광 filter의 설계법의 타당성을 입증하기 위하여, 이론 및 예비

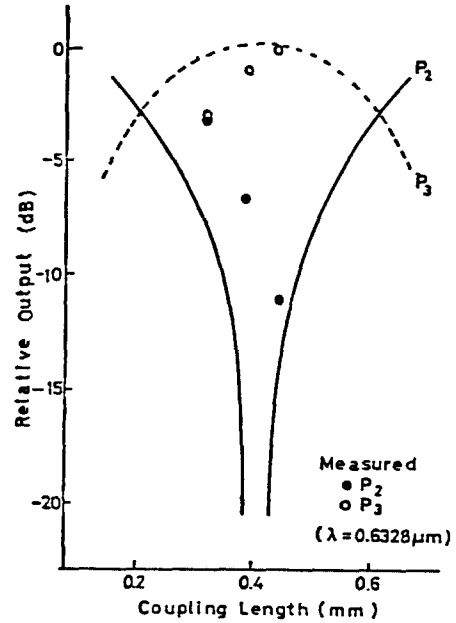


그림 6. 출력의 결합장 의존성 ($\lambda=0.6328\mu\text{m}$)
 Fig. 6. Coupling length dependence of relative output ($\lambda=0.6328\mu\text{m}$).

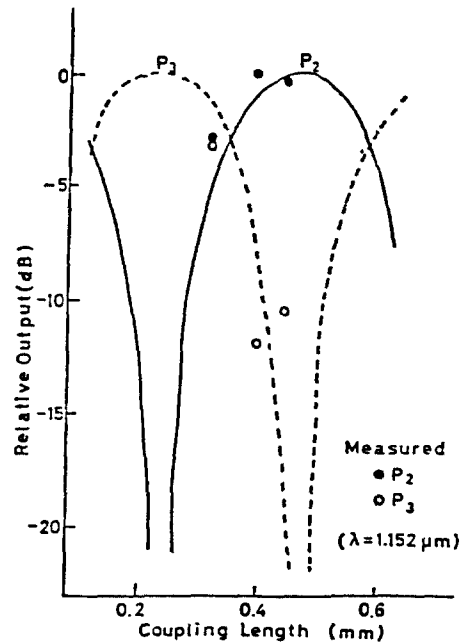


그림 7. 출력의 결합장 의존성 ($\lambda=1.152\mu\text{m}$)
 Fig. 7. Coupling length dependence of relative output ($\lambda=1.152\mu\text{m}$).

실험을 토대로 하여 그림 8에 나타난 형식 및 치수의 광분파 filter를 제작하고 그 전력분배 특성을 측정하였다. 이 filter는 파장 $0.59\mu\text{m}$ 에서 coupling index $N=17$ (cross port 출력)이고, 파장 $0.63\mu\text{m}$ 에서 $N=18$ (bar port 출력)이 되도록 설계된 것으로서, 출력의 이론치는 표 2와 같다.

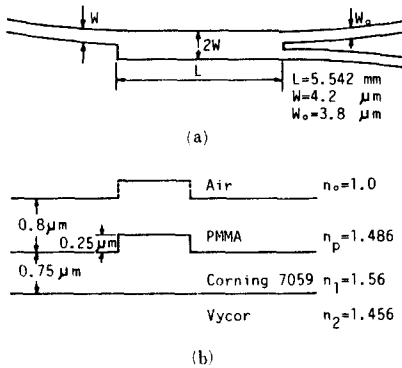


그림 8. 새로운 기능의 집적형 광 필터
Fig. 8. Integrated optical filter with new function.

표 2. 실험에 사용한 새로운 기능의 광필터의 출력 특성(이론치)
Table 2. Theoretical output of optical filter with new function.

파장	출력	Bar Port (P2)	Cross Port (P3)
$0.59\mu\text{m}$		-21.25 dB	-1.02 dB
$0.63\mu\text{m}$		-0.63 dB	-23.81 dB

그림 9는 측정장치의 set-up을 나타내며, 그림 10은 입출력 도파로의 형상을 clad층 형성 전에 촬영한 현미경 사진이다.

그림 8에 나타난 새로운 기능의 광 filter를 제작하여, 파장 $0.59\mu\text{m}$ 및 $0.6328\mu\text{m}$ 의 광을 입력시킨 경우의 광도파 모습을 TV camera로 관측하여 그림 11에 나타낸다. 그림 11(a)는 $0.59\mu\text{m}$ 의 광을 입력시킨 경우로 그 출력이 cross port에, 그림 11(b)는 $0.6328\mu\text{m}$ 의 광을 입력시킨 경우로서 그 출력이 bar port에 각각 거의 전부의 광이 출력되어 대단히 양호한 분파특성을 가짐을 알 수 있다. clad층을 제작한 관계로 crosstalk의 정확한 값은 알 수 없으나, 사진 및 실험과정에서 거의 완전한 분파특성(crosstalk 약 -20 dB 이하)을 확인하였다. 따라서, 본 논문에서 제안한, 새로운 기능의 집적형 광 filter의 설계법의 타당성이 입증되었으며, 그 제작방법을 확립하였다.

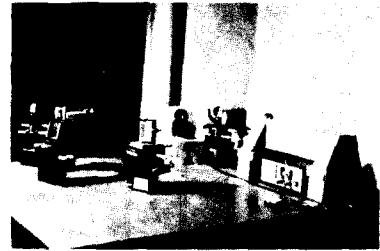


그림 9. 측정장치
Fig. 9. Experimental set-up.

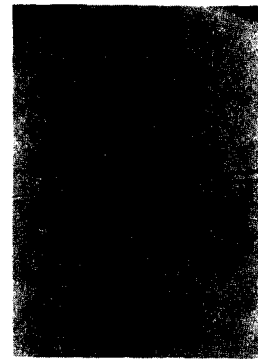
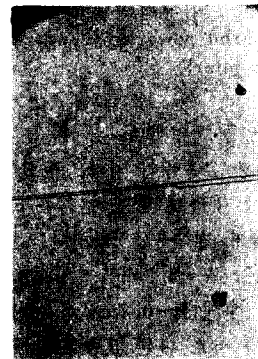


그림 10. 입출력 도파로의 형상
(a) 입력 도파로 (b) 출력 도파로
Fig. 10. Shapes of input and output waveguides.
(a) Input waveguide. (b) Output waveguide.

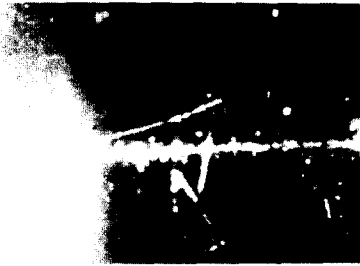
IV. 결 론

Rib 도파로 직결형 방향성결합기의 주파수 특성을 이용한 집적형 광 filter로서, 새로운 기능을 가진 평면형 filter의 설계법을 제 1부에서 제안하고, 실제로 이를 제작하여 그 특성을 측정함으로써 분파특성 및 제작오차를 평가하였다.

나아가서, 제작오차를 제거할 수 있는 광 분파filter



(a)



(b)

그림 11. TV 카메라로 관측한 광도파의 모습
 (a) $0.59\mu\text{m}$ 의 광을 입력한 경우
 (b) $0.6328\mu\text{m}$ 의 광을 입력한 경우

Fig. 11. Aspects of optical guided waves observed by TV camera.
 (a) For the wavelength of $0.59\mu\text{m}$.
 (b) For the wavelength of $0.6328\mu\text{m}$.

를 설계·제작하여, 완전한 광 분파의 동작을 실측에 의하여 확인함으로써 새로운 기능의 집적형 광 filter를 개발함과 동시에, 그 제작 방법을 확립하였다.

參 考 文 獻

[1] 末松, 伊賀, 光ファイバ通信入門, オーム社, 1982.
 [2] 布下, 中山, “積層光方向性結合器を用いた光分波器”, 日本電子通信學會 光·電波部門全國大會, 1978.
 [3] 安永, 渡邊, 後藤, “誘電體薄膜導波路を用いた光ブランディングフィルタ”, 日本電子通信學會 光·電波部門全國大會, 1978.
 [4] Y. Handa, et al., “Integrated grating circuit for guided-beam multiple division fabricated by electron-beam writing,” *Optics Letters*, vol. 5, no. 7, pp. 309-311, Jul. 1980.
 [5] Dong Il Kim, et al., “Directly connected image guide 3-dB couplers with very flat couplings,” *IEEE Trans. on MTT*, vol. 32, no. 6, pp. 621-627, Jun. 1984.
 [6] R. Ulrich and R. Torge, “Measurement of thin film parameters with prism coupler,” *Applied Optics*, vol. 12, no. 12, pp. 2901-2908, Dec. 1973.