

Chirped 回折格子를 利用한 集積形 波長分割 多重化器 製作 및 特性 測定

* 서 만수, 송 재원
경북대학교 전자공학과

Fabrication and characterization of integrated optic wavelength demultiplexer using a chirped grating

* Man Soo Seo and Jae Won Song
Department of Electronics, Kyungpook National University

Abstract

Optical waveguide was fabricated in the soda lime glass substrate using rapid thermal method. A chirped grating having period variation of 0.41 - 0.51 μ m on this waveguide for WDM was made. And then, arranging input and output optical fiber, wavelength division multiplexer with 5 channels in short wavelength region was realized. Experiment result of this WDM showed that wavelength spacing, 3 dB bandwidth, insertion loss and crosstalk were 5nm, 4nm, 40dB and less than -10dB, respectively.

I. 서 론

파장분할 다중화를 위해 파장에 따라 각각 다른 채널로 분파, 합파시키는 분파기, 합파기가 필요하다. 이 분파기, 합파기를 구성하는 각본산 소자로 프리즘, 이색거울, 회절격자 등이 이용되는데 그 중에서 회절격자가 본산 특성이 좋다. 회절 격자를 만드는 방법에는 여러가지가 있으나 홀로그렘 회절격자는 만드는 장치가 간단하고, 서브마이크론 이하의 제작이 가능한 장점이 있다.¹⁾ 이 회절 격자를 이용한 분파기, 합파기의 구성은 벌크형과 집적광학형이 있는데 전자는 광섬유와 회절격자를 결합하기 위한 렌즈가 필요하고, 크기가 크며, 구조가 복잡한 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 회절격자와 평면도파로를 조합한 분파기²⁾나 평면 도파로위에 집적 격자를 제작하는 집적 광학형 소자^{3,4)}가 있다.

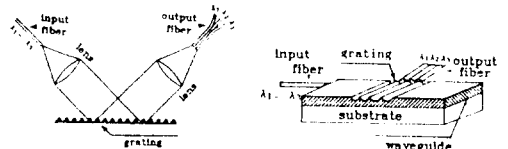
그래서 본 논문에서는 크기와 구조에서 가장 작고 간단한 집적 광학형 파장분할 다중화기를 제작하고 그 특성을 측정하였다. 먼저 유리 기판 위에 K-Na 이온교환 방법을 이용하여 유리 도파로를 제작하였다. 다음 그 위에 5 μ m에 걸쳐 격자 주기가 0.41 - 0.51 μ m로 선형적으로 변하는 회절격자(Chirped Grating)를 홀로그렘 방법으로 제작하고,

입출력 광섬유를 배치하여 광분파기, 합파기를 완성하였다. 사용 파장 영역으로는 광통신의 단파장 영역인 0.8 - 0.9 μ m를 선택하였고, 입출력 광섬유로 크기가 125/50 μ m(외경/내경)인 경사형 광섬유를 사용했으며, 사용채널은 5 채널로 하였다. 또한 광스펙트럼 분석기와 백색광원을 이용하여 집적형 파장분할 다중화기로 실현된 이 소자의 분파 특성을 측정하였으며, 파장이 0.85 μ m인 레이저 다이오드(LD) 광원을 이용하여 삽입 손실을 측정하였다.

II. 본 론

1. 파장 분할 다중화기

광섬유 통신 시스템의 정보 전송 능력을 증가시키기 위한 방법으로 파장분할 다중화(Wavelength Division Multiplexing : WDM)법이 연구되어 왔다. 이 방법은 송신측에서, 각각 다른 파장의 빛에 여러가지 정보를 실어서 합파기를 통하여 하나의 광섬유로 전송하고 분파기를 통하여 파장별로 분리하여 수신측에서 원래의 정보를 수신하는 방법으로 이 합파기, 분파기를 구성하는 소자로 여러가지가 있지만 그 중에서 회절격자가 많이 이용되고 있다. 이 회절격자의 구성형태는 크게 벌크형(bulk type)형과 집적 광학형(integrated optics type)으로 나눌 수 있는데 그림 1의 (a)에서 처음 벌크형은 크기가 크고 구성이 복잡한 단점이 있는 반면 집적 광학형은 그림 1의 (b)에서 보는 바와 같이 벌크형의 이러한 단점을 보완 할 수가 있다. 또한 이 집적 광학형 소자의 응용으로 파장분할



(a) bulk type (b) integrated optics type

Fig. 1. The configuration of demultiplexer.

다중화기 뿐만 아니라 회절격자 렌즈, 격자 결합기, 모드 변환기 등 그 응용 범위가 넓어 이 소자에 대한 연구(5,6,7)가 많이 되고 있다.

2. 회절 격자 설계

주기가 선형적으로 변하는 격자인 Chirped Grating에 여러가지 파장 성분을 갖는 빛이 그림 2와 같이 θ 의 각으로 입사하게 되면 각 파장 성분마다 브래그 조건($\lambda_n = \lambda_n / 2N \cos \theta$; N:유효 굴절율)을 만족하는 영역이 조금씩 달라지면서 2θ 의 각으로 편향될 것이다. 따라서 편향된 이 격자의 끝 부분에 출력 광섬유를 정렬하면 파장 분할기로 사용할 수 있다. 이때 각 파장 영역 마다 최대의 효율을 얻을수 있도록 설계하기 위해 가장 먼저 고려해야 할 것이 사용 파장 영역인데 본 논문에서는 광통신의 단

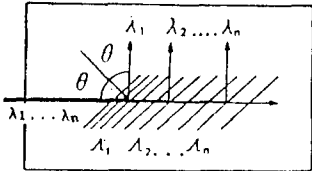


Fig. 2. Demultiplexing in a dielectric waveguide with chirped grating.

파장 영역인 $0.8 - 0.9 \mu\text{m}$ 를 선택하였다. 그 다음 격자의 입사각 θ 를 결정해야 하는데 50° 로 하였으며 이 두 조건으로부터 브래그 법칙을 적용하여 회절격자 주기를 구하면 원하는 파장 영역에서 효율이 좋은 분파기를 설계할 수 있다. 분파기를 위한 홀로그램 회절격자를 설계해야 하는데 사용중심 파장을 $0.85 \mu\text{m}$ 로 하였다. 이 파장에 적합한 격자 중심부분의 주기는 브래그 법칙으로부터 $0.44 \mu\text{m}$ 였다. 이러한 구조를 갖는 Chirped Grating을 위한 홀로그램 노광장치의 기하학적 구조가 그림 3이다. 노광을 위한 광원으로는 파장이 4579\AA 인 Ar-ion laser를 이용하였으며, cylindrical 렌즈의 F수는 2, 기판에 대한 입사

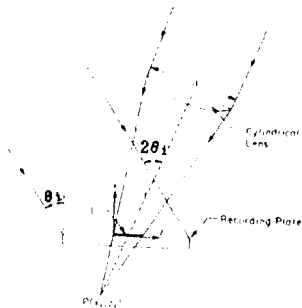


Fig. 3 Geometry for the fabrication of chirped grating.

각 $\theta_i = 30^\circ$, 기판에 기록되는 1.0 cm 중에서 실험에 적합

한 격자 길이 5 mm 만 마스크를 식위 선택하였다. 이 회절격자의 주기가 선형적으로 변화하는것은 왼쪽에서 오는 평행광선과 오른쪽에서 집중렌즈를 통해오는 광선과의 교차각의 차이 때문에 주기가 변하는 것으로 f, L, d, θ_i 와 주기 $\lambda(Z)$ 와의 관계식은 다음과 같다.

$$X_r = \frac{-L \cos(\phi + \theta_i)}{\sin 2\phi} \cos(\phi - \theta_i), \text{ and}$$

$$Z_r = \frac{-L \cos(\phi + \theta_i)}{\sin 2\phi} \sin(\phi - \theta_i),$$

$$\text{where } \phi = \tan^{-1}\left(\frac{d}{2f}\right)$$

$$\lambda(Z) = \frac{\lambda}{\sin \theta_i + \frac{Z - Z_r}{\sqrt{(Z - Z_r)^2 + X_r^2}}} \quad (1)$$

식(1)은 기록판에 기록되는 격자길이에 따른 주기와와의 관계를 나타낸 것으로, 여기서 X_r, Z_r 는 cylindrical lens의 초점위치를 나타낸다. 그림 4는 본 실험에서 제작될 격자길이 1 cm 에 걸쳐 격자 주기와와의 관계를 식(1)으로부터 구한 결과인데 격자길이에 따라 주기가 선형적으로 변하는것을 알 수 있으며, 실제 이용될 부분은 $2 - 7 \text{ mm}$ 이

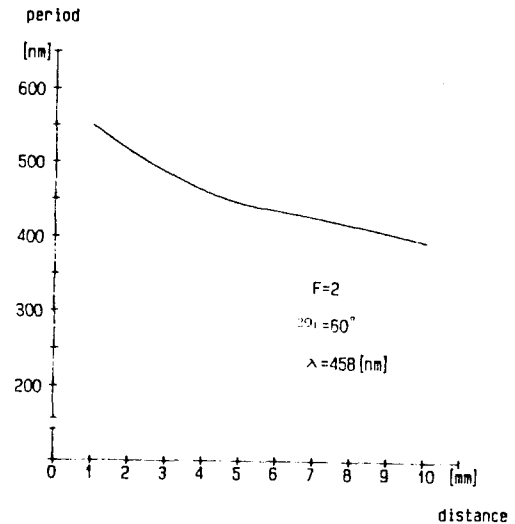


Fig. 4. Period variation as the grating length. The angle $2\theta_i$ has a value of 60° . The range of period variation is from 0.38 to $0.59 \mu\text{m}$ about 1.0 cm .

다. 그림 5는 실제 제작될 격자길이 5 mm 에서 격자 주기와 사용 파장과의 관계를 나타낸 그래프로 주기의 변화에 대해 파장의 변화가 큰 것을 알 수 있는데 이 파장변화가 너무 크거나 적으면 측정하기에 불편하므로 실험에 적합하도록 여러가지 조건을 잘 고려해야 한다.

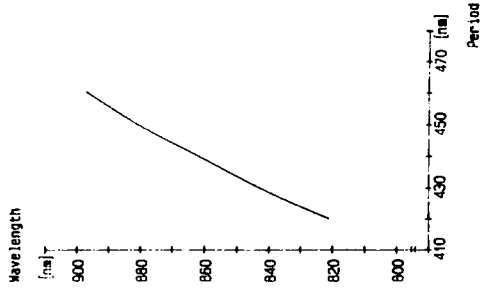


Fig. 5. Relation between the wavelength and period.
Bragg's law $\Lambda = \lambda / 2N \cos \theta$, $\theta = 50^\circ$, $N = 1.52$

3. 회절격자 제작

광본파지, 합파기를 위한 홀로그램 회절격자를 제작하는 과정은 그림 6과 같다.

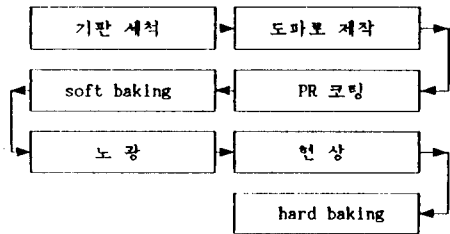


Fig. 6. Flow chart of the holographic grating fabrication.

먼저 유리 기판을 세척해야 하는데 세척 과정은 표 1과 같다. 위의 세척과정을 행한후 440° C에서 20분간 급열 방식에 의한 K-Na 이온 교환 도파로를 제작한 후 두께가

Table 1. substrate cleaning procedure

Sequence	Chemicals	Time	Remark
1	Alconox cleaning		
2	D. I. water rinse	5 min.	
3	3H ₂ SO ₄ : 1H ₂ O	5 min.	100° C
4	D. I. water rinse	5 min.	
5	N ₂ blowing		wafer drying

3000Å 퇴계 포지티브 PR인 AZ-1350B를 7500rpm으로 30초 동안 스프인 코팅한 다음 80° C 오븐에서 30분간 soft baking한다. 다음으로 회절격자를 위한 홀로그램 사진술에 의한 노광으로 노출 장치에 대한 개략도는 그림 7과 같다. 포지 PR을 감광 시키기 위하여 노출광원으로 Ar-Ion laser(파장 4579Å)를 사용했으며 입사빔의 세기가 1.38 mW/일때 노출 시간을 30초로 하였다. 현상액은 포

지 PR 전용 용액인 AZ-351과 DIW를 1:1로 섞어서 30초 동안 현상하였으며 현상하고 난 다음 PR의 견고성을 위해 135° C에서 2분간 hard baking을 실시하였다. 이렇게 제

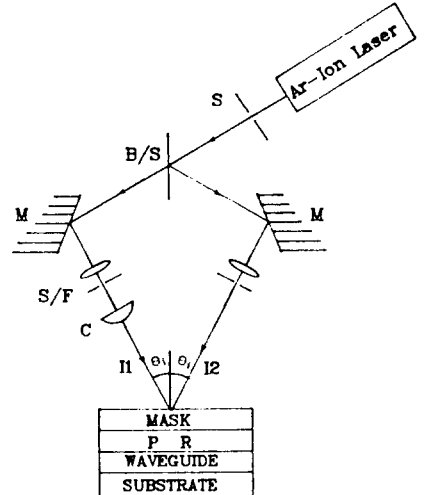


Fig. 7. Schematic of the holographic lithography.
S:shutter, B/S:beam splitter, M:mirror,
 θ_1 :incident angle, S/F:spatial filter,
C:cylindrical lens.

작된 회절격자를 전자현미경(SEM)으로 찍은 사진이 그림 8인데 6000배로 확대한 것이다. 사진의 하단부분에 있는 "—" 표시는 1μm를 나타내며 이 것으로 부터 주기를 구해보면 (a)는 주기가 0.46μm (b)는 주기가 0.5μm로 설계했던대로 chirped grating이 잘 만들어 졌다는 것을 알 수 있다.



(a) plane (X6000), period : 0.46μm



(b) plane (X6000), period : 0.5μm

Fig. 8. SEM photographs of the fabricated chirped grating.

III. 실험 및 결과

이와 같이 유리도파로 위에 홀로그렘 회절격자를 만들고 난 뒤, 입출력 광섬유를 배치하여 광 분파기를 완성 하였으며 완성된 분파기의 분파 특성을 측정하기 위해 그림 9 와 같이 구성하였다. 입출력 광섬유는 크기가 125/50 μm (외경/내경)이고 NA가 0.21인 경사형 광섬유를 사용하였다. 출력 광섬유의 갯수는 5가닥이다. 즉 5채널 광 분파기로 동작된다. 광원으로는 여러가지 파장 성분이 고르게 분포되어 있는 백색광원을 이용하였고 측정에 사용된 파장영역은 광통신의 단파장 영역인 0.8 - 0.9 μm 를 선택하였다. 백색광원으로 부터 입력 광섬유를 통해 나오는 빛을 도파로 끝에 잘 결합 시킨다. 도파로를 지나 회절격자를 만나면 브리그 조건을 만족하는 영역이 조금씩 달라지면서 그림 2와 같이 편향된다. 이때 편향된 도파로 끝 부분에 출력 광섬유 5개를 정렬한 다음 광스펙트럼 분석

악 5 nm 정도도 이론치와 비슷한 값이다. 3dB 대역폭은 4nm 정도이며, 누파는 -10dB 이하임을 알 수 있는데 삽입 손실만 줄일수 있다면 누파는 충분히 개선되리라 본다. 또한 삽입 손실을 측정하기 위해 백색 광원대신 파장이 0.85 μm 인 레이저 다이오드(LD)를 이용하여 측정한 결과 약 40dB 였다. 이상을 바탕으로 실험 결과물 요약 하여 표 2에 나타내었다.

Table 2. Demultiplexer measurement results.

channel number	5 channel
wavelength spacing	5 nm
3 dB bandwidth	4 nm
crosstalk	-10 dB
insertion loss	40 dB

IV. 결 론

소다 유리 기판에 균열 방식으로 광 도파로를 만들고, 그 위에 폭 5mm에 걸쳐 주기가 0.41 μm 에서 0.51 μm 로 선형적으로 변하는 회절 격자를 제작하고, 입출력 광섬유를 배치하여 단파장용 5채널 파장 분할 다중화기를 완성하였다. 이 다중화기의 각종 특성을 측정하였으며 그 결과 채널당 파장 간격이 5nm, 3dB 대역폭이 4nm, 삽입 손실이 40dB 였다. 개선점으로는, 만약 ion-beam etching machine을 사용하여 직접 유리 도파로를 에칭하여 회절 격자를 제작한다면 더 좋은 분파특성이 기대된다.

참 고 문 헌

1. Koh-ichi Aoyama and Jun-ichiro Minowa., " Optical demultiplexer for a wavelength division multiplexing system," Appl. Opt., Vol. 18, pp. 1253-1258, 1979.
2. Toshiaki Kita and Tatsuo Harada, " Use of aberration corrected concave gratings in optical demultiplexers," Appl. Opt., Vol. 22, pp. 819-825, 1983.
3. Toshiaki suhara, Juha viljanen, and Matti Leppihalme, "Integrated-optic wavelength multi- and demultiplexers using a chirped grating and an ion-exchanged waveguide," Appl. Opt., Vol. 21, pp. 2195-2198, 1982.
4. A. C. Livanos, A. Katzir, A. Yariv, and C. S. Hong, "Chirped grating demultiplexers in dielectric waveguides," Appl. Phys. Lett., Vol. 30, pp.

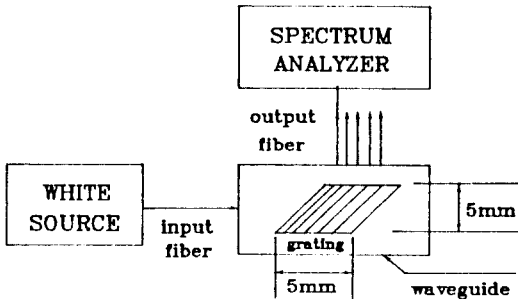


Fig. 9. Schematic of demultiplexer characteristics experiment.

기(Anritsu사 model MS96A)로 분석하여 그림 10과 같은 분파 특성을 얻었다. 이 결과를 보면 채널당 파장 간격은

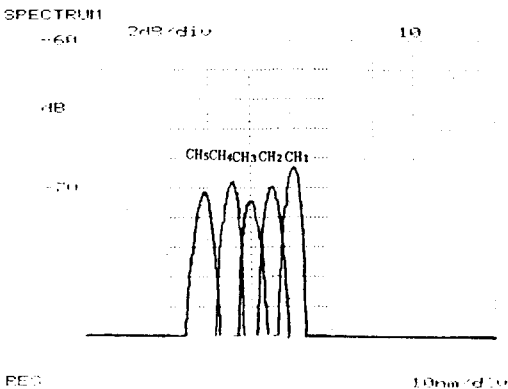


Fig. 10. Demultiplexer branching characteristics.

- 519-521, 1977.
5. S. K. Yao and D. E. Thompson, "Chirped-grating lens for guided-wave optics," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 33, pp.635- 637, 1978.
 6. Gen-ichi Hatakoshi and Shun-ichi Tanaka, "Grating lenses for integrated optics," *Opt. Lett.*, Vol. 2, pp.142-144, 1978.
 7. Fukuzawa and M. Nakamura, "Mode coupling in thin film chirped gratings," *Opt. Lett.*, Vol. 4, pp. 343-345, 1979
 8. A. Katzir, A. C. Livannos, J. B. Shellan, and A. Yariv, "Chirped Gratings in intergrated optics," *IEEE J. Qunantum Electronics.*, QE-13, pp. 296-304, 1977.
 9. W. W. Ng. C. S. Hong, and A. Yariv, "Holographic interference graphy for integrated optics," *IEEE Trans. Electron Devices*, Vol. ED-25, PP. 1193-1200, 1978.