

# Concave 회절격자를 이용한 광분파기 제작과 특성 측정

강 리 할, 송 재 원, 손 현  
경북대학교 전자공학과

## Fabrication and characterization of an optical demultiplexer using a concave diffraction grating

Lee Hal Kang, Jae Won Song and Hyun Son

Department of Electronics, Kyungpook National University

### Abstract

A SiO<sub>2</sub>/Si concave diffraction grating(period: 1.3 $\mu$ m) for the angular dispersive element of WDM was fabricated by sandwiching the SiO<sub>2</sub>/Si plane diffraction grating between a slab waveguide and a cylindrical concave block. Using this concave grating and input/output fiber, an wavelength division demultiplexer was composed. The demultiplexer has five channels, the insertion loss of 30dB, the wavelength spacing per channel of 7nm and crosstalk of -15dB.

### I. 서 론

광통신에서 사용되는 광섬유는 넓은 파장영역에서 저손실 특성을 가지고 있는데, 이 특성을 유효하게 이용하기 위한 한 방법으로 파장분할 다중화법이 있다.<sup>1)</sup> 이러한 파장분할 다중화 시스템에서 가장 중요한 요소는 파장이 다른 광신호를 하나의 광섬유에 결합하는 광합파기(mux)와 전송된 여러 파장을 분리해 내는 광분파기(demux)이다.<sup>2)</sup> 이 분파기, 합파기를 구성하는 소자로는 여러가지가 있으나 회절격자를 이용한 분파기는 분산특성이 좋고 다채널분화가 쉬워서 많이 사용되고 있다. 이 회절격자를 만드는 방법에는 여러가지가 있으나, 홀로그래프 회절격자는 만드는 장치가 간단하며 격자주기를 조절할 수 있는 장점이 있다. 이 회절격자를 이용한 분파기, 합파기의 구성은 bulk형과 집적광학형이 있는데, 전자선 광섬유와 회절격자를 결합하기 위한 렌즈가 필요하고, 크기가 크며, 구조가 복잡한 단점이 있다. 그러나 후자는 bulk형의 이러한 단점을 해결할 수 있으므로 이 소자에

대해서 연구되고 있다.<sup>3)</sup>

그러서 본 논문에서도 concave 회절격자를 이용하여 후자인 집적광학형으로 파장분할 다중화용 분파기를 연구하였다. 격자 주기 1.3 $\mu$ m의 SiO<sub>2</sub>/Si 회절격자를 홀로그래프 노광으로 제작하였다. 다음 이 격자를, 원하는 회절격자의 곡률반경과 같은 곡면 형태로 깎은 concave lucite cylindrical block과, 한쪽 끝을 convex cylinder형으로 깎은 유리 도파로<sup>4)</sup> 사이에 끼워 넣은 후 접착제로 양쪽을 맞붙혀 concave 회절격자<sup>5)</sup>를 이루었다. 이 concave 격자의 Rowland circle상에 입출력 광섬유를 배치하여 분파기를 실현하고 그 특성을 조사하였다.

### II. 이 론

#### 1. 파장분할 다중화(Wavelength Division Multiplexing)

광통신 시스템에서 보다 더 많은 정보량을 전송하기 위하여 송신측에서 각각 다른 파장의 빛에 여러가지의 정보를 실어서 한 가닥의 광섬유를 통하여 전송하고, 수신측에서 이것을 다시 파장별로 분리하여 원래의 정보를 수신하는 방식을 파장분할 다중화 방식이라 한다. 파장분할 다중화기는 송신측의 합파기와 수신측의 분파기로 구성된다. 합파기에는 입력용 광섬유, 합성소자 및 전송용 광섬유가 필요하고 분파기에는 전송용 광섬유, 분파소자 및 출력용 광섬유가 필요하다. 그림 1에 보이는 것처럼 합파기와 분파기의 파장 분산소자로는 프리즘, 유전체 다층막 필터 및 회절격자 등<sup>6)</sup>이 이용되는데 그 중에서 회절격자는 기본소자의 수를 늘리지않고 구성할 수 있어서 구조가 간단하고 다채널화가 가능하며 가격이 싸고 대량생산이 가능한 장점이 있다.

본 논문에서는 평면 회절격자 시스템에 비해 렌즈 설치가 필요없고, 입출력 광섬유의 배치가 용이하며, 특히 렌즈에 의해 발생하는 색수차<sup>7)</sup>를 없애주는 concave 회절격

자를 설계, 제작한다.

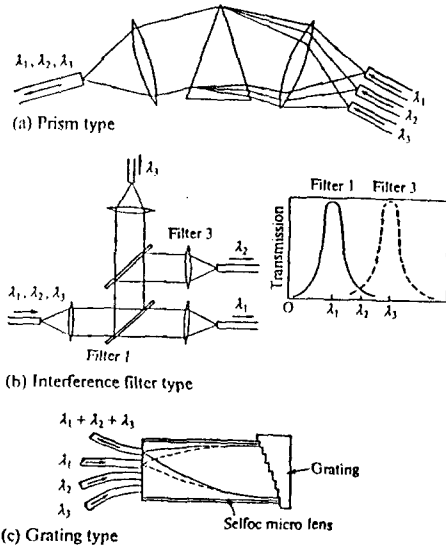


Fig. 1. Components for wavelength division multiplexing.

2. 회절격자

회절격자란 파의 위상, 크기 혹은 위상-크기의 주기적인 변동 효과를 주는 aperture나 장애물을 가지는 회절원의 반복적인 배열이다. 파장 분산소자로 쓰이는 회절격자는 그림 2와 같이 각 격자에 일정기울기(경사각  $\theta$ )를 주어 원하는 차수로 큰 회절효율을 얻게한 경사형(blazed) 회절격자가 많이 쓰인다. 입사각  $\theta_i$ 와 회절각  $\theta_r$ 의 관계는 다음의 식 (1)로 표시되며 특히 입사각과 회절각이 같을때를 Bragg조건이라 한다.

$$k\lambda = nd(\sin\theta_i + \sin\theta_r) \quad (1)$$

여기서  $k$ 는 회절차수,  $n$ 은 입출력 광섬유와 회절격자 사이 매질의 굴절률,  $d$ 는 회절격자의 주기이며  $\lambda$ 는 사용 파장이다. 그리고 격자의 경사각  $\theta$ 를 입사각  $\theta_i$ 와 일치시키

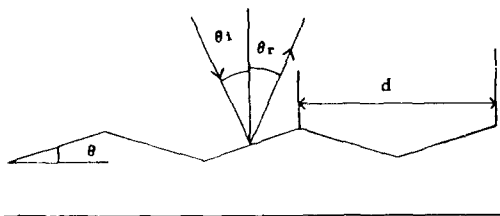


Fig. 2. Blazed diffraction grating.

고  $\theta_i = \theta_r$  이 되게 할때 최대 효율을 갖는 파장은 식 (1)로부터 다음과 같은 관계로 표현된다.

$$d = \lambda_B / 2\sin\theta \quad (2)$$

여기서  $\lambda_B$ 를 경사파장(blazed wavelength)이라고 한다.

III. 설계 및 제작

1. 본파기의 설계

그림 3은 concave 회절격자의 개략도<sup>2)</sup>로서 입력 광섬유를 통해 입사된 여러 파장의 빛은 회절격자에서 분리되어 격자의 곡률 반경  $R$ 의 반인  $R/2$ 의 반경을 가지는 Rowland circle 상에 초점이 모이게 되므로 입출력 광섬유의 배치가 용이하게 된다. 기존의 concave 회절격자는 concave block에 직접 ruling machine으로 회절격자를 제작하였으

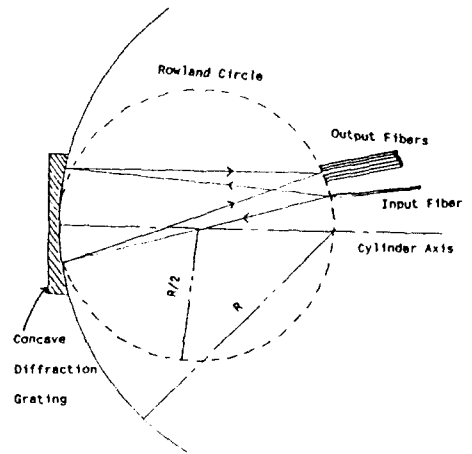


Fig. 3. Arrangement of demultiplexer elements using a concave diffraction grating.

나, 본 논문에서는 이 방법을 피하고 그림 4에서 처럼 평면 회절격자를 설계, 제작한 다음 이를 cylindrical block에 접착제로 고정시키고 반대쪽에서는 회절격자의 곡률반경  $R$ 과 같은 곡률을 가지도록 얇은 광도파로를 밀착시켜서 광분파기를 제작하는 방식을 채택하였다. 여기

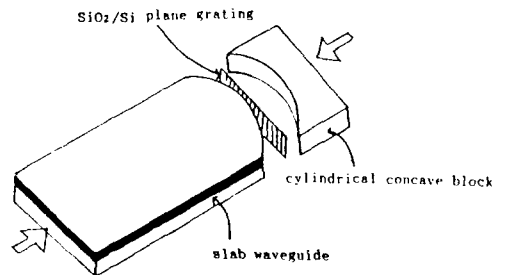


Fig. 4. Assembly of the concave diffraction grating.

서 광도파로를 사용하는 이유는 기존의 concave 회절격자는 들어오는 빛을 Rowland circle 상에 spherical로 초점을 모아주나 본 논문에서 채택한 방식으로 하면 초점을 cylindrical 형태로 모아 주므로 세로 방향으로 초점 형성이 이루어지지 않는다. 그래서 이것을 보완하고 회절격자에서 파장별로 분리된 빛을 출력 광섬유가 배열되어 있는 Rowland circle 상까지 유도하기 위해서 회절격자와 입출력 광섬유 사이에 광도파로를 삽입시킨 것이다. 이렇게 하면 본파기에서 빛의 입출력시 도파로의 크기에 따라 입출력각이 제한을 받게 된다. 회절격자용 재료로 1인치 실리콘 기판을 사용할 경우 그림 5는 식 (1)로부터 구한 곡률반경에 대한 최대 입사각의 관계를 표시한 것이다.

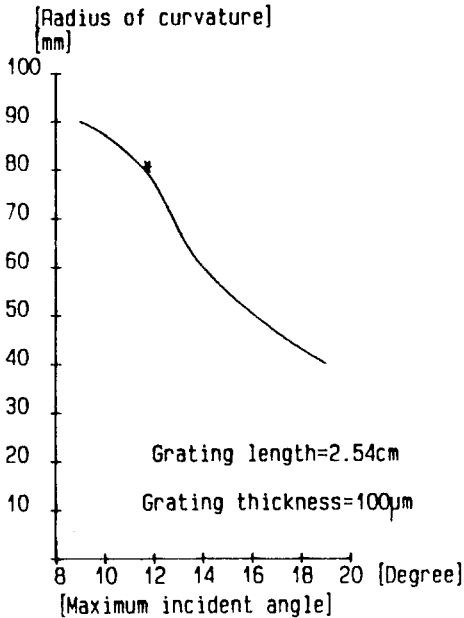


Fig. 5. Relation between radius of curvature and maximum incident angle.

본 논문에서는 곡률반경 R을 80mm로 하였으므로 그림에서 보는 바와 같이 최대 입사각은 12°가 된다. 이 본파기를 광통신의 단파장 영역인 0.8 - 0.9μm에서 사용하기 위해서 경사파장 λ<sub>B</sub>를 0.85μm로 하였다. 이 값을 식 (2)에 적용하여 경사각에 대한 회절격자의 주기와의 관계를 구하였으며 경사각 12°일때 회절격자의 주기는 1.3μm로 선택된다. 그림 6은 앞에서 설계한 전체 본파기의 개략도이며 표 1은 각각의 파라미터이다.

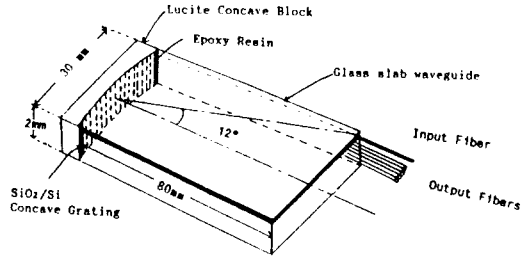


Fig. 6. Structure of the demultiplexer using a concave grating and a slab waveguide.

표 1. 본파기 설계시의 파라미터.

Parameter	Remark
곡률반경	R = 80 mm
경사파장	λ <sub>B</sub> = 0.85μm
경사각	θ = 12°
회절격자 주기	d = 1.3μm
도파로	K-Na 이온 교환 도파로

2. 회절격자의 제작

파장분할 다중화기를 위한 회절격자를, P형 실리콘 기판을 사용하여 홀로그렘 노광으로 제작하였다. 그 순서도는 아래 그림 7과 같다.

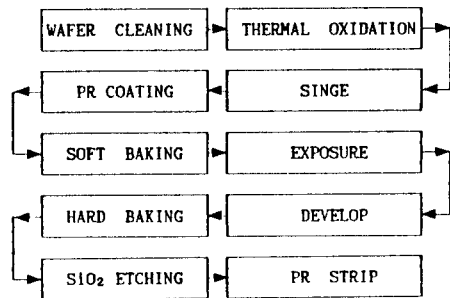


Fig.7. Fabrication flow chart of the grating.

홀로그렘 회절격자 패턴을 기록하기 위하여 그림 8과 같은 레이저 노출장치를 사용했다. 파장이 4579Å인 아르곤 이온 레이저를 노광 광원으로 사용하였으며 출력은 0.53mW였다. 그리고 beam splitter와 거울면의 불균일로 인한 빔의 외구성분을 제거하고 빔폭을 크게(직경 3.5cm)하기 위해 대물면즈(×10)와 핀홀(직경25μm)로 구성된 공간 여파기(spatial filter)를 사용했다. 그림 5에서 구한 1.3μm주기의 회절격자 패턴을 얻기 위해서 입사각을

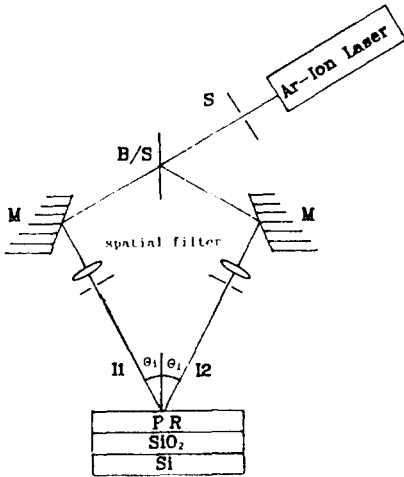


Fig. 8. Schematic of the holographic lithography. S:Shutter, B/S:Beam splitter, M:Mirror.

10°로 하였으며 노출시간은 2분으로 하였다. 이와같이 제작한 회절격자의 SEM(Scanning Electron Microscope) 사진을 그림 9에 보여준다. 그림에서 보듯이 원래 설계한 대로 격자주기 1.3μm로 균일하게 만들어져 있음을 알 수 있다.

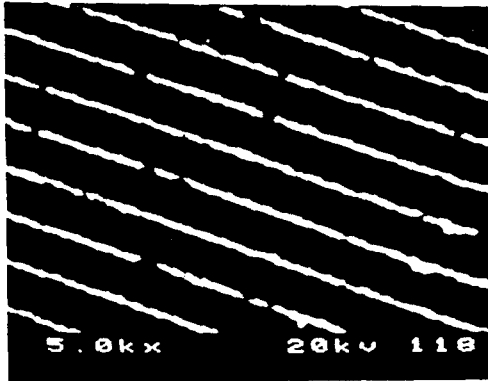


Fig. 9. SEM photograph of the diffraction grating(x5000).

3. K-Na 이온 교환 도파로 제작

앞에서 언급한대로 cylindrical grating을 위한 도파로가 필요한데, 단시간내에 큰 모드 깊이를 얻기 위해 할로젠 램프의 빛을 이용하는 급열 K-Na 이온 교환 방식으로 슬라이드 유리기판(80x30x2mm)에 도파로를 제작하였다. 440°에서 50분간 이온 교환하여 제작한 도파로의 특성은 표면굴절률 1.52, 확산길이 12μm, 모드수 8이었다.

IV. 특성측정 및 결과검토

이상과 같이 각각 따로 제작한 회절격자, 유리 도파로, concave block과 입출력 광섬유를 그림 10과 같이 구성하여 파장분할 다중화기를 완성하였다. 입출력 광섬유로는

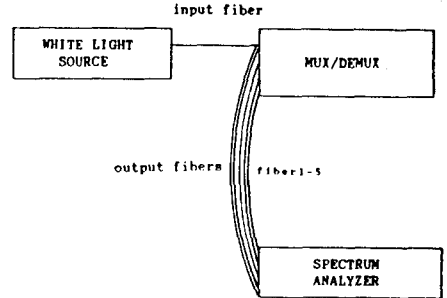


Fig. 10. Experimental setup for wavelength demultiplexer.

같은 크기를 갖는 섬유를 사용했는데 코어, 클래딩 직경이 각각 50, 125μm이다. 이 입출력 광 섬유의 각종 파라미터를 표 2에 정리하였다.

표 2. 입출력 광섬유의 파라미터.

parameter	remark
type	Graded Index Type
core직경	50μm
외경	125μm
NA	0.21±0.02
길이	2.5 m

이렇게 완성한 파장분할 다중화기의 본파특성을 그림 10과 같은 장치로 측정하였다. 광원으로는 할로젠 램프로 구성된 백색광원(Anritsu사 model MG922A)을 사용하였다. 실험에 사용한 파장으로는 0.8-0.9μm를 선택하였다. 백색광원으로 부터 입력 광섬유를 통해 나오는 빛을 도파로 끝에 잘 결합시킨다. 도파로를 지나 회절격자에서 파장별로 분리되어 도파로 끝 부분에 정렬된 5개의 출력 광섬유를 지나 광 스펙트럼 분석기(Anritsu사 model MS96A)로 들어온 빛을 분석한 결과는 그림 11과 같으며 이를 특성별로 알아보면 다음과 같다.

1) 누 화(Crosstalk)

상용 WDM에서 -30dB이하이나 본 실험에서는 -15dB이하로 나타났다.

2) 삽입손실(Insertion Loss)

0.85μm의 파장을 방출하는 laser diode(Anritsu사 model MG92B1)를 광원으로 사용하여 측정한 삽입손실은 30dB였다. 따라서 회절격자의 회절효율, 광섬유 - 도파로 결합

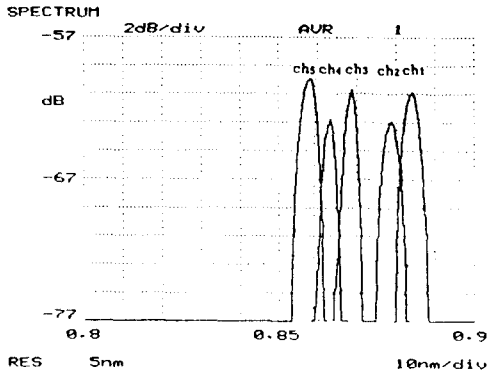


Fig. 11. Branching characteristics of the demultiplexer.

을 개선하고, 곡률반경을 줄인다면 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

3) 채널당 파장간격(Wavelength spacing per channel)  
채널당 파장간격은 약 7nm 정도로서 이온치(6.04nm)와 거의 비슷하다.

4) 기존의 concave 회절격자를 사용한 결과와 비교  
기존의 concave 회절격자는 ruling machine으로 제작되므로 격자주기가 커서 이에 직접 비례하는 채널당 파장간격이 넓어지게 되는 단점이 있다. 그러나 본 논문에서 채택한 방식으로 하면 훨씬 작은 주기를 가지는 회절격자 제작이 가능하므로 한정된 파장영역에서 더 많은 채널을 사용할 수 있다.

## V. 결 론

광통신의 단파장 영역에서 WDM의 각 본산 소자로서 이용되는 주기 1.3 $\mu\text{m}$ 인 SiO<sub>2</sub>/Si 회절격자를 홀로그렘 노광을 이용하여 제작하였다. 제작한 회절격자의 패턴이 일정하게 만들어졌음을 표면 SEM 사진으로 확인하였다. 이 SiO<sub>2</sub>/Si 회절격자를 lucite concave cylindrical block과, 한쪽끝이 convex cylinder형인 K-Na 이온 교환 유리 도파로사이에 고정하여 concave 회절격자를 이루었다. 그리고 이루어진 concave 회절격자의 Rowland circle상에 입출력 광섬유를 설치하여 0.8-0.9 $\mu\text{m}$  파장 영역에서 쓸 수 있는 5채널짜리 파장분할 다중화기를 실현하였다. 이 파장분할 다중화기의 특성을 백색광원, 레이저 다이오드 광원 및 광 스펙트럼 분석기로 측정하였다. 그 결과 누와 -15dB, 삽입손실 30dB, 채널당 파장간격 7nm인 특성을 얻었다.

## 참 고 문 헌

1. H. Ishio, et al., "Review and status of wavelength division multiplexing technology and its application," IEEE J. Lightwave Tech., vol. LT-2, NO. 4, pp. 448, Aug. 1984.
2. W. J. Tomlinson, "Wavelength multiplexing in multimode optical fibers," Appl. Opt., vol. 16, NO. 8, pp. 2180-2194, Aug. 1977.
3. Y. Fujii, et al., "Optical demultiplexer utilizing an Ebert Mounting silicon Grating," IEEE J. Lightwave Tech., vol. LT-2, NO. 5, pp. 731-734, Oct. 1984.
4. G. L. Yip and J. Abert, "Characterization of planar optical waveguides by K-ion exchange in glass," Opt. Lett., vol. 10, NO. 3, pp. 151-153, Mar. 1985.
5. Yohji Fujii and Junichiro Minowa, "Optical demultiplexer using a silicon concave diffraction grating," Appl. Opt., vol. 22, NO. 7, pp. 974-978, Apr. 1983.
6. Keigo Lizuk, "Engineering Optics," Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo, pp. 372, Aug. 1985.
7. F. A Jenkins, et al., "Fundamentals of optics," McGraw - Hill, pp. 373, 1976.
8. Y. Fujii, et al., "Optical demultiplexer using a silicon Echelette Grating," IEEE J. Quan. Elec., vol. QE-16, NO. 2, pp. 165-169, Feb. 1980.
9. 김태완, "급열방식에 의한 K-Na 이온교환 도파로 제작과 특성 측정," 경북대학교 석사학위 논문집, 1988.