

## 평판도파로 브래그격자 제조 및 접속

한준모, 최준석, 문형명, 임기건\*, 이형종(전남대학교 물리학과), 최두선(한국기계연구원)

### Fabrication and Packaging of Planar Waveguide Bragg Grating

Junmo Han, Joon-Seok Choi, Hyung-Myung Moon, Kiegon Im\*, Hyung-Jong Lee(Phys. Dept., CNU),  
Doo-Sun Choi(Div. Intel. Prec. Mach., KIMM)

#### ABSTRACT

Computer code was developed to design waveguide gratings based on coupled-mode equations and the transfer matrix formalism. The experimental set-up has been constructed for inscribing Bragg gratings in planar waveguides with a phase mask and uv laser beam, which enables alignment and packaging of grating devices as well as in-situ performance measurements. Bragg grating has been fabricated on silica planar waveguides with 0.75% Germanium concentration and its transmittance spectrum was measured to have 95% reflectance at the peak wavelength. Optical losses as the function of the misalignment were measured and their usage is described.

**Key Words** : Planar Bragg grating (평판도파로 브래그격자), UV laser (UV 레이저), Phase mask (위상마스크), optical alignment and packaging (광학정렬 및 접속)

#### 1. 서론

도파로 브래그격자는 여과기, 결합소자, 도파로 레이저 반사경, 증폭기의 이득평탄화, 파장다중화, 및 광스위치 등 여러 분야의 소자 개발의 핵심적인 기능을 부여한다. UV 엑시머레이저의 출력을 게르마늄이 첨가된 실리카 유리에 조사하여 격자구조를 형성시키는 방법이 Hill 등에 의해 발표되었고[1] 이후, 위상마스크를 이용한 광섬유 격자 형성방법을 활용하여 여러 종류의 광통신소자들이 연구되었다 [2].

수동형 광 add-drop multiplexer의 개발은 파장다중화와 관련된 광네트워크에 중요하다. 이와 관련하여, 집적광학회로가 갖는 장점을 활용하고 소자의 저가격화를 구현하기 위해서 높은 농도의 게르마늄이 첨가된 평판도파로에 브래그격자를 형성하는 연구가 진행되고 있다[3]. 일반적으로 브래그격자를 핵심요소로 하는 소자를 가공하는 데는 네 단계가 필요하다. 도파로 의 광민감화 공정, 격자 형성, 열적 처리, 그리고 패키징이다.

이 논문에서는 위상마스크와 UV 레이저 출력을 이용한 격자제작 공정을 소개하고 제작된 격자의 특

성스펙트럼 측정결과를 보고한다. 또한, 광격자를 광섬유와 광학정렬 및 접속에 관한 실험결과를 보고한다.

#### 2. 도파로격자 제작

광도파로 코어(core)를 제작할 때 굴절률을 높이기 위해 게르마늄이 첨가하게 되는데 격자를 새기기 위해서는 광민감성(photosensitivity)을 더욱 증대시키기 위해 보다 많은 게르마늄을 첨가한다. 또한, 게르마늄이 첨가된 광도파로에서 수소는 좋은 GeO 결합을 형성하기 때문에 격자제작 전처리공정으로 흔히 수소처리(hydrogen loading)를 시행하게 된다.

Fig. 1는 이 연구에서 사용하는 간단한 수소처리 장치의 주요부분을 보여준다. 그림에 보이는 챔버 안에 도파로가 새겨진 실리카 시편을 넣고 수소를 주입하여 대략 100기압이 되도록 조절하여 48시간 이상 수소 침투를 시험하였다.

광도파로 브래그격자를 제작하는 방법은 크게 위상마스크(phase mask)를 사용하는 방법[4]과 Mach-Zehnder 또는 유사한 간섭장치를 사용하는 홀로그래픽(holographic) 방법으로 구분된다. 홀로그래픽 방법

은 관련 반사경의 각도를 조정함으로써 격자상수를 변화시킬 수 있는 장점이 있으나 공기의 섭동 등 주위 환경에 민감하고 대량생산에 불리하다.

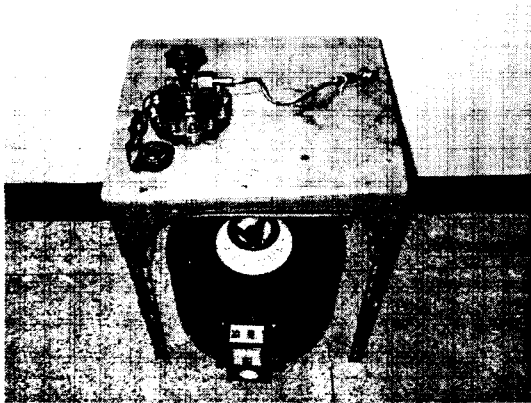


Fig. 1 Home-made hydrogen loading Set-up

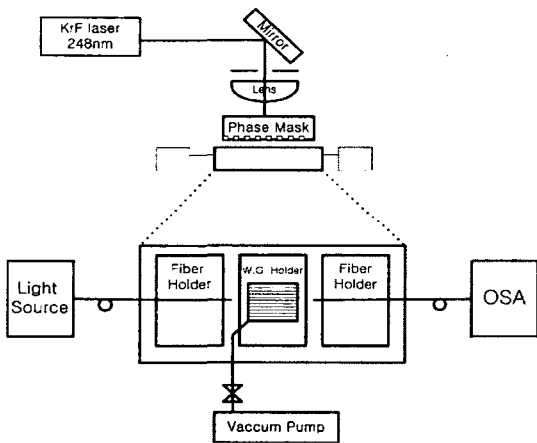


Fig. 2 Illustration of experimental set-up for the fabrication of waveguide gratings using the phase mask method

이 연구에서 사용하는 방법은 위상마스크 방법이며 격자주기가  $1.060\mu\text{m}$ 인 위상격자를 구입하여 사용하였다. Fig. 2는 이 연구에서 구성하여 사용중인 실험장치의 개요도이며, Fig. 3는 실제 장치의 구성도이다. UV 광원으로 최대 600mJ KrF 레이저를 사용하며, 레이저 출력에 포함되어 있는 ASE를 제거하고 flat top 형태에 가까운 조도분포를 얻기 위하여 rectangular aperture를 설치하고, 출력의 강도와 조사 면적을 조정하기 위하여 cylindrical lens를 설치하였다.

위상마스크와 도파로의 정렬, 그리고 도파로와

광섬유의 정렬을 위하여 두 개의 CCD-camera를 사용하고 정밀한 광학정렬을 위해서 3축 변위에 대하여는  $0.05\mu\text{m}$  분해능을 갖는 이동장치를 각각 설치하여 사용하였다. 실시간 격자기록 관측 및 반사와 투과 스펙트럼 측정을 위해 광대역 레이저 광원과 optical spectrum analyzer가 SMF 광섬유를 통해 평판도파로 입력단과 출력단에 능동정렬하여 연결하고, 완성된 격자소자의 성능분석을 위해서 파장가변레이저가 설치되었으며, WDM 기능의 특성평가를 위해 4-Ch 파워미터를 활용한다.

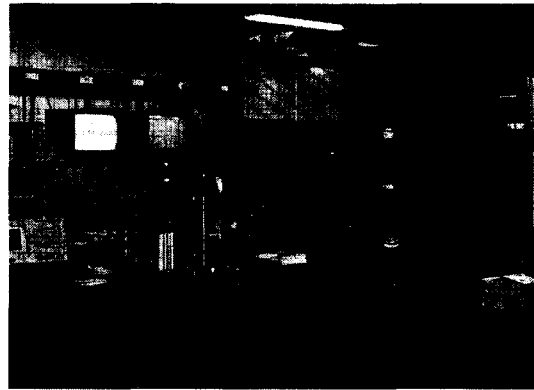


Fig. 3 Experimental set-up of the fabrication of waveguide gratings

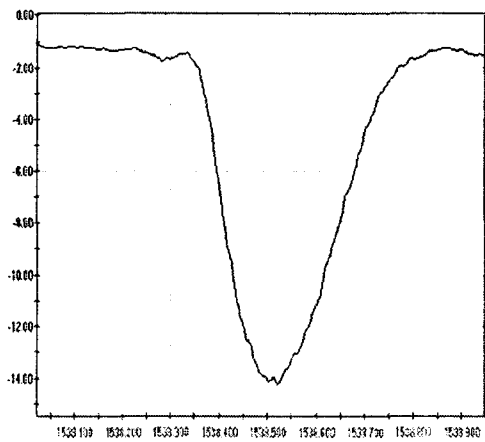


Fig. 4 Transmission spectrum of planar straight waveguide grating. (Wavelength in nm, insertion loss in dB)

Fig. 4는 시험제작한 평판도파로 브래그격자의 투과스펙트럼 측정결과를 보여준다. 게르마늄이

0.75% 첨가된 코아를 갖는 실리카 도파로를 구입하여 상온 100기압에서 210시간 수소처리를 시행하였다. UV 조도는 펄스당 3.4 mJ/mm<sup>2</sup>이고, 10 Hz, 20 min. 동안 노광시켰으며, 형성된 격자의 길이는 8 mm이었다. 그림에서 반사가 이루어지는 반사파장대역의 FWHM은 0.25 nm이고 1538.5 nm에서 95%의 반사율을 갖는 것을 볼 수 있다. 격자의 브래그파장은 예측과는 상당한 차이를 보였으며, 격자의 노광 광학계의 정렬에 개선이 필요하다고 분석된다.

### 3. 광격자소자의 정렬 및 접속

광섬유-도파로 정렬기법에는 크게 능동정렬법과 수동정렬법으로 구분된다. 능동정렬법이 대상 정렬체 간의 접속효율을 높이기 위해 어느 한쪽(주로 광섬유)을 미세 조정하여 최대의 결합 위치를 찾는 데 비하여 수동정렬법은 정교하게 가공된 정렬체의 기하학적인 성질을 이용한 기술이다.

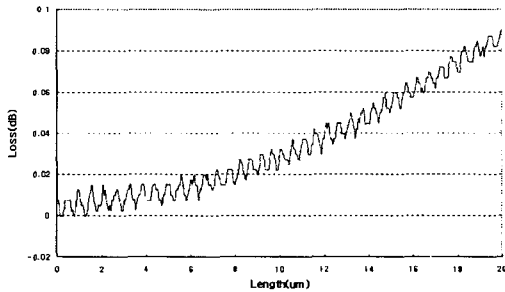


Fig. 5 Loss due to longitudinal misalignment (Shifted length in  $\mu\text{m}$ , loss in dB)

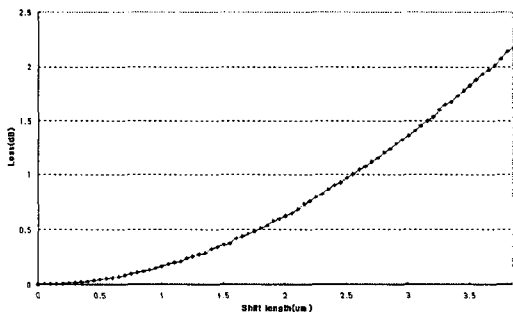


Fig. 6 Loss due to lateral misalignment (Shifted length in  $\mu\text{m}$ , loss in dB)

이 연구에서는 광격자소자의 in-situ 측정을 위해서는 공기를 격하여 정렬하는 방식을 사용하고 있으며 제조된 격자의 성능을 정밀 측정하기 위한 광학

정렬에는 index matching oil을 사용하는 능동정렬방식을 채택하였다.

능동정렬 시스템은 광격자 도파로칩을 가운데에 두고 양쪽에 광섬유를 정밀하게 정렬할 수 있도록 하였으며 2 대의 CCD-camera를 사용하여 3차원정렬과 접속공정이 동시에 이루어질 수 있도록 구성하였다.

Fig. 5는 두 개의 단일모드 광섬유를 index matching oil을 사용하여 정렬하였을 때, 광섬유 사이의 거리에 따른 손실의 변화를 측정한 결과이며, Fig. 6는 두 광섬유의 광축이 서로 어긋난 정도에 따른 손실의 변화를 측정한 결과이다.

위의 그림들을 비교하면, 광축방향의 정렬은 20  $\mu\text{m}$ 까지 떨어져도 정렬손실이 0.1 dB 미만인데 비하여 수직방향의 정렬이 대단히 민감하여 1  $\mu\text{m}$  정도 어긋났을 때 손실이 0.1 dB를 넘어서는 것을 볼 수 있다. 또한, 이 결과를 이용하여, 광섬유를 일정거리만큼 접근시킨 후, 접근 전에 비해 손실이 어느 정도 감소했는가를 계산하면 대략적인 거리를 유추해 낼 수 있었으며 점차로 접근해 가는 알고리즘과 x-y 정렬 알고리즘을 이용해 충돌했는지 여부를 검사하면, 물리적 방식의 충돌감지기 없이도 5~10  $\mu\text{m}$  이내로 광섬유와 도파로칩을 근접시킬 수 있었다.

### 4. 결론

위상마스크와 UV 레이저를 사용하여 평판형도파로 브래그격자가 시험제작되었다. 제작된 격자의 반사파장대역의 FWHM은 0.25 nm이고 1538.5 nm에서 95%의 반사율을 갖는 것을 측정하였다. 그러나, 격자의 브래그파장은 예측과는 상당한 차이를 보였으며, 격자의 노광 광학계의 정렬에 개선이 필요하다고 분석되었다. 향후, 수소처리과정의 온도, 압력, 및 처리시간에 따른 광민감성의 변화를 분석할 계획이며, UV 출력의 강도와 노광시간 등 공정변수의 변화에 따른 지속적인 실험을 통해서 적정조건을 확보할 계획이다.

광격자소자의 정렬 및 접속에 관한 기술분석이 시행되었고 광도파로소자와 광섬유를 자동정렬 및 접속하는 기초실험이 시행되었고, 정렬이 어긋남에 따른 손실을 파악하였다.

### 후기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대신기술 개발 사업 중 한국기계연구원이 주관하고 있는 고기능 초미세 광열유체 마이크로부품 기술개발 사업의 세부과제로서 수행중이며 이에 관계자 여러

분들께 감사의 말씀을 올립니다.

#### 참고문헌

1. K. O. Hill, Y. Fujii, D. C. Johnson, and B. S. Kawasaki, "Photosensitivity in optical fiber waveguides: application to reflection filter fabrication," *Appl. Phys. Lett.* Vol. 32, pp. 647-649, 1978.
2. K. O. Hill, B. Malo, F. Bilodeau, D. C. Johnson, and J. Albert, "Bragg gratings fabricated in monomode photosensitive optical fiber by UV exposure through a phase mask," *Appl. Phys. Lett.* Vol. 62, pp. 1035-1037, 1993.
3. D. Mechin, P. Grosso, and D. Bose, "Add-drop multiplexer with UV-written Bragg gratings and directional coupler in SiO<sub>2</sub>-Si integrated waveguides," *J. Lightwave Tech.* Vol. 19, pp. 1282-1286, 2001.
4. R. Kashyap, "Fiber Bragg Gratings," Academic Press, pp 119-193, 1999.2. Tlusty, J., Smith, S., and Zamudia, C., "Operation Planning Based on Cutting Process Model," *Annals of the CIRP*, Vol. 39, pp. 517-521, 1990.