

광도파로 브래그 격자의 온도특성과 열처리 공정

한준모* · 서영진* · 백세종* · 노홍렬* · 임기건* · 최두선**
(2004년 2월 10일 접수)

Temperature Characteristics and Annealing Process of the Waveguide Bragg Grating

J. M. Han, Y. Seo, S. J. Baik, H. R. Noh, K. Im and D. S. Choi

Abstract

The waveguide Bragg gratings have been fabricated by the phase-mask method. An excimer laser with maximum 600mJ output pulse energy and uniform phase masks have been used. Hydrogen loading is often used for enhancing the uv photosensitivity of the core, however, the resultant gratings show significant aging effect. In the present study, high temperature thermal annealing process has been investigated to obtain thermal gratings and process parameters are deduced.

Key Words : Phase Mask, Waveguide Bragg Grating, Annealing

1. 서 론

광도파로 브래그 격자는 광도파로 내부의 주로 코어의 굴절률을 주기적으로 또는 비주기적으로 변화시켜 특정 파장의 빛을 반사시키거나 투과손실로 작용하게 하는 광소자이다. 이러한 광소자는 광가감다중화기, 분산 보상기, 파장 선택형 반사 거울, 파장제거필터, 증폭기의 이득평탄화, 광 스위치 등 여러 분야의 소자 개발의 핵심적인 기능을 제공한다.

UV KrF 엑시머 레이저를 게르마늄이 첨가된 실리카 유리에 조사하여 격자구조를 형성시키는 방법이 Hill 등에 의해 발표되었고⁽¹⁾ 이후, 홀로그래피 방법⁽²⁾, 위상마스크 방법⁽³⁾ 등 여러 가지의 광섬유 격자 형성방법을 활용하여 여러 종류의 광통신소자들이 연구되었다.

광섬유격자는 광섬유 내에 구성된 소자로서 광

섬유의 연결간 낮은 결합손실이나 삽입손실을 보이며 제조공정이 간단하여 지속적으로 성능이 보완되고 있다. 수동형 광 add-drop multiplexer 의 개발은 파장다중화와 관련된 광 네트워크에 필요하다. 이와 관련하여, 집적광학회로가 갖는 장점을 활용하여 소자의 저가격화와 소형화를 구현하기 위해서 평판형 도파로에 브래그격자를 형성하는 연구가 진행되고 있다.⁽⁴⁾

일반적으로 브래그격자를 핵심요소로 하는 소자를 가공하는 데는 네 단계가 필요하다. 도파로의 광민감화 공정, 격자형성, 열처리, 그리고 패키징이다.

첫 번째 단계의 광민감화 공정에서 광섬유 격자의 제작은 광섬유의 광감도 현상과 크게 연관되어 있다. 여러 가지 광감도 향상방법 중 Ge의 도핑량을 늘리거나 여러 가지 물질을 동시에 도핑시켜 광섬유의 광감도를 향상시키는 방법은 광

* 전남대학교 물리학과

** 한국기계연구원 지능형 정밀기계연구부

섬유 제조 과정에서 특수한 공정을 필요로 하며, 이러한 이유로 광섬유의 가격이 고가라는 단점이 있다. 그러나 광섬유의 수소 처리를 통한 광감도 향상법은 광섬유 제조 시 특수 공정이 필요하지 않으며, 일반 통신용 광섬유에 직접 처리하여 매우 우수하게 광감도가 향상된다는 장점을 갖고 있다. 광섬유와는 다르게 FHD(Flame Hydrolysis Deposition) 방법으로 만든 평판형 도파로는 base, core, over-cladding으로 구성되어 있는데 실제로 광이 도파되어 진행되는 곳은 굴절률이 상대적으로 높은 core이다. 따라서 이 core를 제작할 때는 굴절률을 증가시키기 위해서 게르마늄(Ge)이 첨가하게 되는데 격자를 새기기 위해서는 광민감성(Photosensitivity)을 더욱 증대시키기 위해 보다 많은 Ge를 첨가하게 된다. 이는 Ge이 광민감성이 좋고 이에 따라서 수소와 결합해서 좋은 반응성을 갖게 한다. Ge가 첨가된 단일모드 광도파로에서 수소는 좋은 GeO 결합 형성 물질이므로 광민감성을 증대시킬 수 있다. 일반적으로 광민감성을 증대시킬 수 있는 방법으로 알려진 것은 120기압, 온도는 100℃ 정도에서 48 시간이상 챔버 안에서 게르마늄이 첨가된 실리카 유리를 수소 처리하는 것으로 수소처리법(Hydrogen loading)⁽⁵⁾으로 알려져 있다. 이 때 수소를 침투시키면 1380nm 파장대에서 추가적인 손실이 발생하게 된다. 이러한 손실을 감소시키기 위해서는 수소분자 대신에 중수소를 사용하면 된다. 저온처리법은 상온에서 800기압 이상의 고압으로 수소 처리하는 방법이고 이렇게 처리된 도파로는 항구적인 광민감성을 도파로에 부여할 수 있다.

이와 같은 두 형태의 수소 처리된 광도파로를 사용하여 브래그 격자를 제작할 경우, 광도파로에 포함된 수소가 시간이 경과함에 따라 외부로 확산되면서 굴절률변화에 참여했던 GeH, SiOH, GeOH 결합⁽⁶⁾들이 감소하여 브래그 파장과 반사율 등 격자 특성이 변하게 된다. 이러한 단점을 개선하기 위해서 열처리 과정이 활용된다. 열처리는 이러한 결합들을 높은 온도에서 일시적으로 제거하여 격자의 특성을 안정화 시켜준다.

이 논문에서는 위상마스크 방법에 의해 광도파로 브래그 격자 제작 장치 및 공정에 대해 알아보고, 제작된 광도파로의 스펙트럼 측정과 광도파로의 종류에 따른 온도변화에 의한 스펙트럼을 측정한다. 광소자에 사용되는 광섬유 브래그격자는 제작 직후부터 시간이 경과함에 따라 격자의

특성이 변하므로 이를 개선하기 위해 고온 열처리를 실시하여 광섬유브래그격자의 스펙트럼을 안정화 하였다.

2. 브래그 격자 제작 공정

광민감성을 강화시키는 방법 중에서 수소 처리법을 활용하여 챔버 안에 평판형 도파로나 광섬유를 넣고 수소를 주입하여 상온에서 150° C 까지 조절할 수 있는 온도조절기를 이용하여 광민감성을 강화시킨다. 수소 챔버는 압력계이치를 설치하여 수소처리 중 챔버 내의 압력을 확인할 수 있도록 하였고 압력밸브를 연결하여 고압에 의한 폭발위험에 대해 안전하게 하였다.

본 실험에서 광민감성은 상온에서 100 기압으로 72 시간 동안 수소처리를 실시하고, 80° C 에서 100 기압으로 72 시간 동안 수소처리 후 UV 를 노광하였다. 제작 장치에서 위상 마스크는 마스크의 골의 깊이(DPM)를 조절함으로써 위상 마스크에 수직으로 인가된 UV 빛의 0 차 회절을 수 % 이내로 하고, ± 1 차 회절을 최대로 하여 이 빛들을 이용하여 코어에서 간섭을 일으킨다. 홀로그래피 방법과 비교할 때 위상 마스크를 사용하는 방법은 격자 형성용 UV 빛의 가간섭성 길이에 관계없이 도파로 격자를 만들 수 있으므로 저가의 UV 레이저를 사용할 수 있고, 단순히 하나의 광학 소자를 사용하므로 시스템이 훨씬 간단해지며, 보다 안정적으로 도파로 격자를 만들 수 있기 때문에 도파로 격자를 대량으로 제작할 수 있다는 장점이 있다. Fig. 1 은 위상마스크방법의 구성도이다.

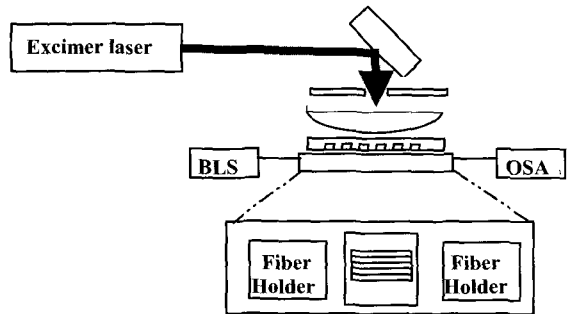


Fig. 1 Experimental Setup for Phase Mask Method

위상마스크 방법으로 브래그 격자를 도파로에 새기기 위해서 KrF 엑시머 레이저를 광원으로 사

용하여 실험 장치를 구성하였다. 레이저 출력에 포함되어 있는 ASE(Amplified Spontaneous Emission)를 제거하고 flat top 형태에 가까운 조도분포를 얻기 위하여 rectangular aperture를 설치하고, 균일한 강도와 조사면적을 조절하기 위하여 cylindrical lens를 이용하여 광속을 도파로에 집속되게 하였다.

정밀 자동정렬 시스템은 평판형 도파로와 광섬유 (1-1/1-N)와 광섬유 또는 광섬유 array를 정렬하여 최고의 높은 power를 찾아 정렬하여 주는 장비이다. 정밀한 광학정렬을 위해서 3축 변위에 대하여는 0.05 μ m 분해능을 갖는 이동 stage를 각각 설치하였고 contact sensing을 위해 3축 변위에 대해서도 0.0015deg 분해능을 갖는 goniometer stage를 각각 설치하였다.

계측기는 자동정렬을 위해 LD-source power를 아날로그신호로 변화시키는 파워메타(Anritsu사)를 출력단에 연결하였고, 입력단은 BLS (Broadband light source)를 사용하였다. 정렬방법으로는 먼저 수동으로 평판형 도파로와 bare 광섬유 사이를 CCD 카메라로 보면서 시스템의 Z stage controller와 X stage controller를 사용하여 longitudinal과 lateral을 정렬한 후 자동 정렬시킨다.

열처리방법으로 hot-plate를 사용하여 국소적으로 고온 열처리를 시행하고 공정조건에 따른 스펙트럼 변화를 실시간으로 측정하였다. 고온에서 열처리한 격자의 브래그 파장과 반사율의 변화를 측정하고 해당 굴절률변조의 변화를 계산하였으며 열처리 하지 않은 격자의 성능과 비교하였다. 실험결과, 열처리를 실시함으로써 광섬유 브래그 격자가 안정화됨을 알 수 있었다. 그리고 열처리 온도와 시간을 변수로 하여 격자의 특성 변화를 알아보았다. 높은 온도(260 $^{\circ}$ C)에서는 낮은 온도(130 $^{\circ}$ C)에서보다 짧은 시간에 안정화를 이룰 수 있었고 반사율도 큰 폭으로 감소함을 확인할 수 있었다. 그리고 반사율이 서로 다른 격자를 동일한 조건으로 열처리 해보았다. 반사율이 큰 격자는 제작 시 UV 조사시간이 더 길게 작용하여 사전 열 효과를 받게 되므로 열처리를 실시하였을 때, 더 빠른 시간에 안정화가 이루어졌고 반사율의 변화폭도 더 작음을 확인할 수 있었다. 열처리 (Annealing)는 광섬유 코팅에 손상이 없도록 코팅이 제거된 격자 부분만 국소적으로 정해진 온도에서 여러 시간 동안 heating 시켜주는 처리과정이다. Fig. 2는 열처리 장치를 나타낸 것이다.

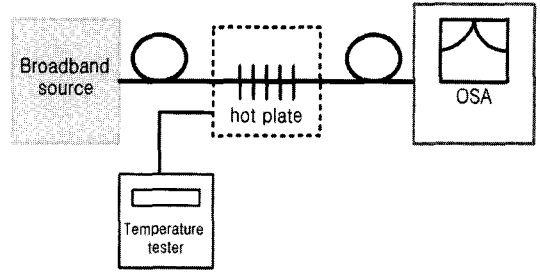
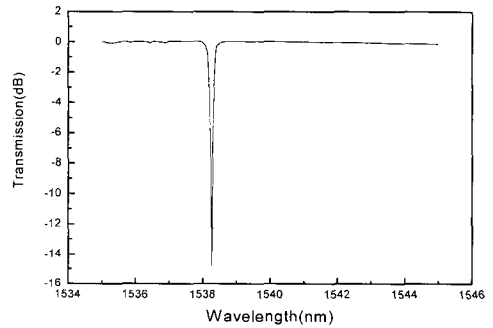
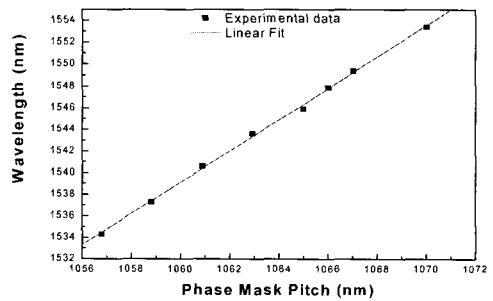


Fig. 2 Experimental schematic for annealing of waveguide Bragg gratings



(a) Transmission Spectrum



(b) The dependence of the wavelength on the phase mask pitch

Fig. 3 Planar Bragg grating

3. 실험 결과

3.1 광도파로의 특성 스펙트럼

Fig. 3(a)는 제작한 평판형 도파로 브래그격자의

투과스펙트럼 측정결과를 보여준다. 격자주기가 1.060 μm 인 위상격자를 사용하였고, UV 조사량은 550mJ이고, 10Hz, 10min동안 조사시켰으며, 형성된 격자의 길이는 10mm 이었다. 반사로 인한 투과손실은 1538.31nm에서 15dB로 97%의 반사율을 갖고 3dB 대역폭은 0.152nm이다. Fig. 3(b)는 pitch 간격이 다른 여러 종류의 phase mask를 사용하여 브래그파장을 측정한 결과이고 이로부터 phase mask의 pitch간격에 따라 브래그파장이 선형적으로 변함을 알 수 있다.

Fig. 4(a)와 Fig. 4(b)는 각각 광섬유와 평판형 도파로 브래그 격자의 온도 변화에 따른 격자의 파장 변화를 나타낸다. 온도변화에 따른 파장변화율이 장파장 쪽으로 각각 약 0.016nm/ $^{\circ}\text{C}$ 와 0.010nm/ $^{\circ}\text{C}$ 의 파장변화가 측정되었으며, 온도변화를 낮춰가며 반복 시험한 결과도 같은 값으로 측정되었다. 이로부터 광섬유격자와 마찬가지로 평판형 도파로 브래그격자도 온도조절로서 파장변화를 조절

가능하다는 것을 알 수 있었다.

3.2 열처리 실험결과

광섬유 브래그 격자 제작을 위해, 실온상태에서 100 기압으로 5일간 수소 처리한 광민감성 광섬유를 사용 브래그격자를 제작하였다. 이 때 UV의 조사 조건은 300mJ, 10Hz로 3분간 조사하였으며 격자의 길이는 1cm 이며 반사율은 다양하게 제작해 측정하였다. 높은 열처리 온도에서 격자의 열적 붕괴는 반사율의 변화를 측정하여 식(1)을 이용하여 굴절률변조(Δn)를 계산함으로써 모니터 된다.

$$\Delta n = (\lambda / \pi L) \tanh^{-1}(\sqrt{R}) \quad (1)$$

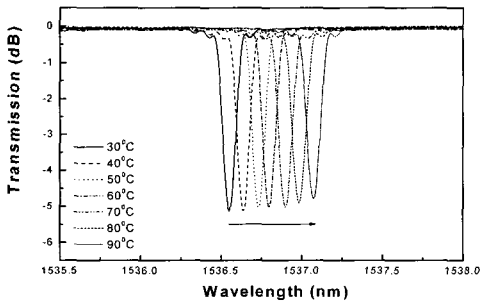
여기서 Δn 은 평균 굴절률 변조, λ 는 브래그 파장, L 은 격자 길이이고 R 은 반사율이다.

열처리를 실시하지 않고 실온상태에서 보관된 격자의 특성을 312 시간 동안 측정해보았다. Fig. 5(a)와 Fig. 5(b)는 각각 시간에 따른 브래그 파장과 굴절률변조 변화를 보여주고 있다. 실온 보관한 격자의 경우는 312 시간 동안 브래그 파장은 단파장 쪽으로 0.515nm가 이동하고, 굴절률 변조는 9%가 감소함을 확인하였다. 이러한 변화는 광섬유에 포함되어 있는 수소가 밖으로 확산되면서 나타나는 현상으로, 서서히 일어나지만 안정화를 이루지 못하고 계속해서 변하기 때문에 원하는 파장과 원하는 반사율을 갖는 격자를 요하는 경우에 문제점이 야기된다.

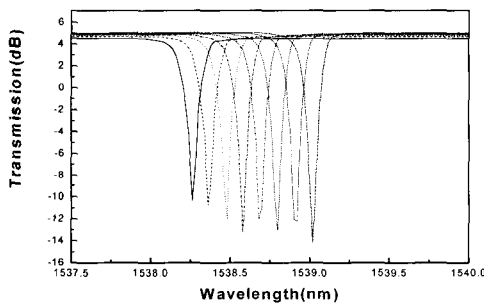
수소 처리한 광섬유에 여러 개의 격자를 만들고 각각 다른 온도에서 열처리 해보았다. Δn_0 는 열처리 시작 전에 반사율 R_0 를 측정하여 얻어낸 초기 굴절률 변조 값이고 Δn 는 열처리 과정 동안의 반사율로부터 계산된 값들이다. Fig. 6은 실온 보관한 것과 열처리한 격자의 특성을 비교한 것이다. 열처리한 격자의 경우 격자특성이 빠른 시간에 안정화됨을 알 수 있다.

동일한 열처리 온도에서 열처리 시간을 달리해 보았다. Fig. 7(a)는 260 $^{\circ}\text{C}$ 에서 1시간, 3시간, 6시간 동안 열처리한 결과로써 시간이 길어질수록 굴절률변조가 서서히 더 작아짐을 알 수 있다. 이는 열처리 시간을 조절함으로써 원하는 특성을 갖는 격자를 얻을 수 있음을 의미한다.

또한, 열처리 온도에 따른 영향을 알기 위하여 동일한 시간 동안 열처리 온도를 달리해 보았고

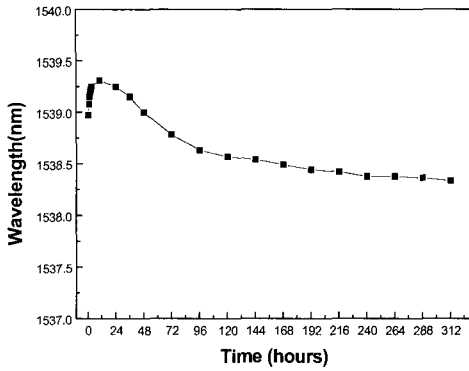


(a) Fiber Bragg grating

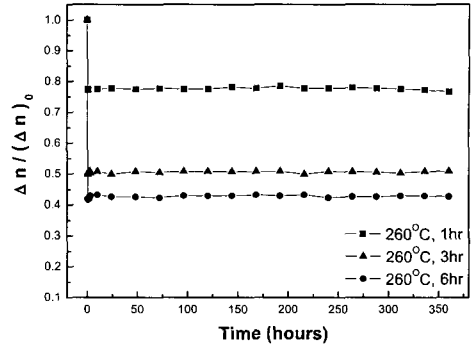


(b) Planar Bragg grating

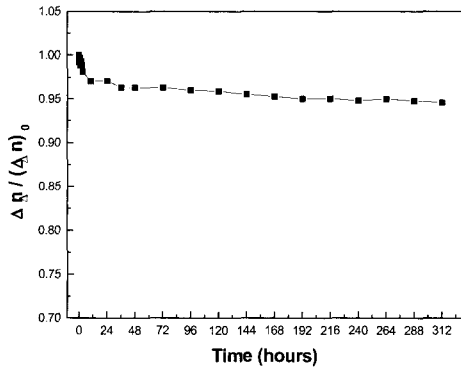
Fig. 4 Transmission spectra at the various temperatures



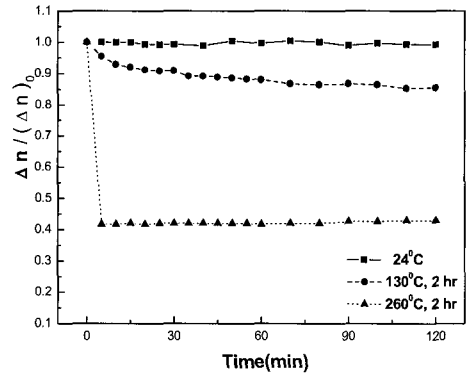
(a) Fiber Bragg wavelength



(a) At three different annealing times



(b) The refractive index modulation



(b) At different annealing temperatures

Fig. 5 The aging effect at room temperature

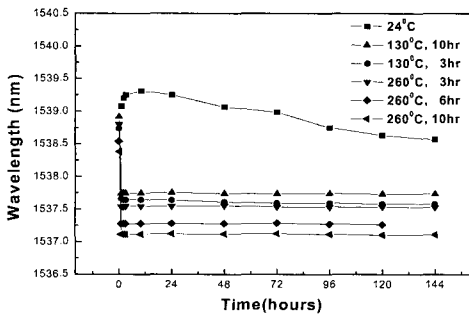
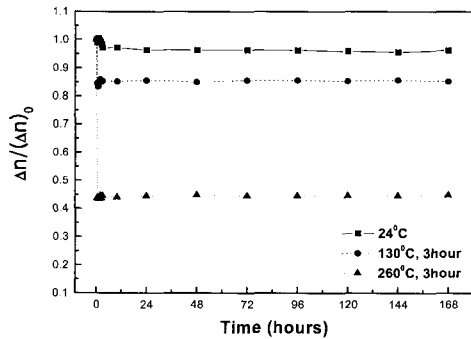


Fig. 6 The comparison of the aging effect for the nealing and non-annealing processes



(c) After annealing process

Fig. 7 Thermal degradation

실험결과는 Fig. 7(b)와 같다. 열처리온도가 높을수록 굴절률변조가 큰 폭으로 감소함을 알 수 있고, 빠른 시간 내에 안정화가 이루어짐을 알 수 있었다. 그리고 Fig. 7(c)를 보면, 열처리 과정 중에 결정된 격자의 특성이 열처리 후에 그대로 유지됨을 확인할 수 있다.

4. 결론

광소자 및 광센서로 사용되고 있는 도파로 브래그 격자 제작공정에 대해 알아보고 소형화와 집적화가 가능한 평판형 브래그 격자를 제작하여 온도특성을 측정하였다. 제작공정에서는 광섬유 브래그 격자에 비해 측정면에서는 다소 복잡하나 제작공정은 서로 같다. 제작이 용이한 광섬유 브래그 격자를 제작하여 열처리 특성을 파악하였다. 수소 처리된 광섬유를 사용하여 브래그 격자를 제작할 경우, 광섬유에 포함된 수소가 시간이 경과함에 따라 외부로 확산되면서 브래그 파장과 반사율 등 격자 특성이 변하게 된다. 이러한 단점을 개선하기 위해서 열처리 과정이 활용된다. 본 연구에서는 hot-plate를 사용하여 국소적으로 고온 열처리를 시행하고 공정조건에 따른 스펙트럼 변화를 실시간으로 측정하였다. 130°C와 260°C 온도에서 열처리한 격자의 브래그 파장과 반사율의 변화를 측정하고 해당 굴절률변조의 변화를 계산하였으며 열처리 하지 않은 격자의 성능과 비교하였다. 열처리를 하지 않은 격자의 경우, 320 시간 동안 브래그 파장이 0.808nm, 굴절률변조는 5.9% 감소하였으나, 고온상태에서 열처리한 경우 브래그 파장은 0.008nm 이하, 굴절률변조는 1.11% 이하의 결과를 얻을 수 있었다. 고온 열처리를 함으로써 열처리 시간을 단축할 수 있으며 광섬유 브래그 격자의 특성을 빠른 시간 내에 안정화시킬 수 있고 열처리 조건을 조절하여 원하는 특성을 갖는 격자를 얻을 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발 사업 중 한국기계연구원이 주관하고 있는 고기능 초미세 광열유체 마이크로 부품 기술개발 사업의 세부과제로서 수행 중이며, 이에 관계자 여러분들에게 감사의 말씀을 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) K. O. Hill, Y. Fujii, D. C. Johnson, and B. S. Kawasaki, 1978, "Photosensitivity in optical fiber waveguide: Application to reflection filter fabrication", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 32(10), pp. 647 ~ 649.
- (2) G. Meltz, W. W. Morey, and W. H. Glenn, 1989, "Formation of Bragg gratings in optical fibers by a transverse holographic method", *Opt. Lett.*, Vol. 14, pp. 823 ~ 825.
- (3) K. O. Hill, B. Malo, F. Bilodeau, D. C. Johnson, and J. Albert, 1993, "Bragg gratings fabricated in monomode photosensitive optical fiber by UV exposure through a phase mask", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 62(10), pp. 1035 ~ 1037.
- (4) T. Tanaka, Y. Hibino, T. Hashimoto, M. Abe, R. Kasahara, M. Ishii, Y. Inoue, Y. Tohmori, 2002, "100-GHz spacing eight-channel light source integrated with gratings and LDs on PLC platform", *IEEE Photonics Technol. Lett.*, Vol. 14, pp. 1348 ~ 1350.
- (5) P. J. Lemaire, R. M. Atkins, V. Mizrahi and W. A. Reed, 1993, "High pressure H₂ loading as a technique for achieving ultrahigh UV photosensitivity and thermal sensitivity in GeO₂ doped optical fibers", *Electron. Lett.*, Vol. 29, pp. 1191 ~ 1193.
- (6) J. Stone, 1987, "Interaction of Hydrogen and Deuterium with silica Optical fibers: A Review", *J. Lightwave Technol.*, Vol. 5, pp. 712 ~ 733.