

## UV 폴링용 Ge와 B가 첨가된 실리카 유리 광섬유 제조 및 특성 평가

김복현 · 안태정 · 허종\* · 신동욱\*\* · 한원택†

광주과학기술원 정보통신공학과

\*포항공과대학교 신소재공학과

\*\*한양대학교 세라믹공학과

(2002년 10월 14일 접수; 2002년 11월 27일 승인)

### Fabrication and Characterization of Ge/B-doped Optical Fiber for UV Poling Applications

Bok Hyeon Kim, Tae-Jun Ahn, Jong Heo\*, Dong Wook Shin\*\* and Won-Taek Han†

Department of Information and Communications, Kwangju Institute of Science and Technology, Gwangju 500-712, Korea

\*Department of Materials Science and Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang 790-784, Korea

\*\*Department of Ceramic Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received October 14, 2002; Accepted November 27, 2002)

#### 초 록

2차 비선형 광특성을 유도하기 위한 UV 폴링용 Ge와 B가 첨가된 광민감성 광섬유를 제조하였다. 248 nm KrF 엑시머 레이저 조사에 의하여 수소처리 없이 장주기 격자를 형성할 수 있었다. 116 mJ/cm<sup>2</sup>의 펄스 에너지와 10 Hz의 조사 빈도로 1분간 광민감성 광섬유에 레이저를 조사할 경우 -4 dB의 큰 band rejection 특성을 얻을 수 있었다. 제조된 광섬유의 광민감성은 장주기 격자쌍 방법을 이용하여 측정하였으며, 8.67 kJ/cm<sup>2</sup>의 fluence로 KrF 엑시머 레이저를 조사할 경우 3.3×10<sup>-3</sup>의 큰 코어 굴절률 변화를 얻었다. 또한 UV 폴링 시에 광섬유 코어에 고전압을 쉽게 인가할 수 있는 H자 형상의 광섬유를 인출조건을 최적화를 통하여 제조하였다.

#### ABSTRACT

An Ge/B-doped optical fiber with high photosensitivity was fabricated to induce large second-order optical nonlinearity by UV poling. It was found that long period fiber gratings were inscribed on the fiber by the 248 nm KrF excimer laser irradiation with pulse energy of 116 mJ/cm<sup>2</sup> and pulse frequency of 10 Hz without hydrogen loading treatment. The photosensitivity was measured by use of the long period fiber grating pair method and the refractive index change of 3.3×10<sup>-3</sup> was found to be induced in the core of the optical fiber by the KrF excimer laser irradiation of 8.67 kJ/cm<sup>2</sup>. An H-shaped optical fiber was also fabricated for the UV poling through optimization of the fiber drawing condition.

**Key words :** Second-order optical nonlinearity, UV poling, Photosensitivity, Optical fiber, Long period fiber grating, Laser

#### 1. 서 론

2차 비선형 광특성을 가진 재료는 전기장을 인가하여 재료의 굴절률을 변화시키므로써 광변조기, 광스위치 및 주파수 변환기 등과 같은 광통신소자를 제조하는데 사용된다.<sup>1)</sup> 일반적으로 실리카 유리는 구조적 등방성 때문에 이차 비선형 광특성이 없는 것으로 알려져 있으나 고전압 하에서 분극시킬 경우 2차 비선형 광특성을 유도할 수 있다. 2차 비선형 광특성 유도를 위한 분극 처리를 폴

링(poling)이라고 한다.<sup>2)</sup> 실리카 유리를 폴링에 의하여 광통신소자 제조에 사용하기 위해서는 큰 2차 비선형 광특성이 유도될 수 있는 광섬유의 조성을 개발하는 것이 선결 조건이며, 또한 광섬유가 폴링하기에 용이한 구조를 가져야 한다.<sup>2-5)</sup>

폴링에 의하여 구조적 등방성을 가진 실리카 유리에 2차 비선형 광특성이 유도되는 원인으로 일반적으로 쌍극자 모델(dipole model)<sup>6,7)</sup>과 공간 전하 모델(space charge model)<sup>8,9)</sup> 등이 제시되고 있지만 아직까지 정확한 메커니즘은 규명되어 있지 않다. 쌍극자 모델에서는 유리 안에 존재하는 쌍극자들의 방향이 고전압을 가하는 폴링 공정에 의하여 특정한 방향으로 재정렬되기 때문에 유리에 이차 비선형 광특성이 유도된다고 설명한다. 반면에 공간

†Corresponding author : Won-Taek Han

E-mail : wthan@kjst.ac.kr

Tel : +82-62-970-2215 Fax : +82-62-970-2204

전하 모델에서는 이차 비선형 광특성이 유리안에 함유되어 있는  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Li}^+$  및  $\text{H}^+$ 처럼 이동도(mobility)가 큰 이온들이 폴링에 의하여 전극쪽으로 이동하기 때문에 유도된다고 설명한다. 폴링에 따른 쌍극자의 재정렬이나 이온들의 이동에 의하여 유리 내에 local field가 발생하게 되어 유리의 광학적 등방성이 깨지게 되고 따라서 유리에 이차 비선형 광특성이 발생된다.

광섬유를 폴링하는 방법에는 광섬유에 이차 비선형 광특성을 유도하는 방법에 따라 광섬유에 고전압을 걸어주면서 250~350°C 정도의 온도로 열을 가하는 열 폴링(thermal poling)<sup>3)</sup>과 UV 파장대의 레이저 빔을 조사하는 UV 폴링(UV poling)<sup>4)</sup> 그리고 열을 가하는 수단으로  $\text{CO}_2$  레이저를 이용하는 폴링( $\text{CO}_2$  laser assisted poling)<sup>5)</sup> 등을 예로 들 수 있다.

최근에 UV 폴링에 의하여 실리카 광섬유에서 비선형 재료로 잘 알려진  $\text{LiNbO}_3$ 에 필적하는 큰 2차 비선형 광특성이 유도될 수 있음이 보고된 바 있다.<sup>4)</sup> Ge이 첨가된 실리카 유리에 UV 레이저를 조사할 경우 4개의 O-Si 또는 O-Ge와 결합하고 있으며 한 개의 전자를 포획하고 있는 GEC(Ge-Electron Center) 및 3개의 O-Si 또는 O-Ge와 결합하고 있으며 한 개의 전자를 포획하고 있는  $\text{GeE}'$  center가 생성 및 소멸하게 된다. UV 조사에 의한 폴링 메카니즘은 아직 정확하게 규명되어 있지 않지만 일반적으로 UV 조사에 의한 구조 결함의 일종인 GEC 및  $\text{GeE}'$  center의 농도 변화에 따른 전하의 발생 및 포획과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다.<sup>10-12)</sup> 광섬유의 UV 조사에 의하여  $\text{GeE}'$  center와 같은 구조결함이 많아질수록 굴절률이 증가하며 이를 UV 조사에 의한 광민감성(photosensitivity)의 척도로 삼는다. 따라서 광섬유의 UV 광민감성이 큰 재료일수록 폴링에 의하여 큰 2차 비선형 광특성이 유도될 것으로 예상된다.

UV 광민감성을 가진 광섬유 코어 조성 중에서 Ge와 B가 첨가된 실리카 유리가 광민감성을 극대화할 수 있는 조성으로 알려져 있다.<sup>13)</sup> 본 연구에서는 폴링에 의하여 큰 2차 비선형 광특성을 유도할 수 있는 광섬유 개발을 위해 광민감성이 우수한 코어 조성으로 Ge와 B가 첨가된 실리카 유리를 선택하여 광섬유 제조공정을 확립하였다. 그리고 광민감성을 측정하기 위하여 장주기 격자쌍 방법을 사용하였으며, 장주기 격자쌍 방법에 의하여 제조된 광섬유의 광민감성을 측정하고 분석하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. Ge와 B가 첨가된 광섬유 제조

광섬유의 제조를 위해서는 우선 광섬유 모재를 만들어야 하며, 본 연구에서는 광민감성이 우수한 것으로 예상되는 Ge와 B가 첨가된 광섬유 모재를 Modified Chemical

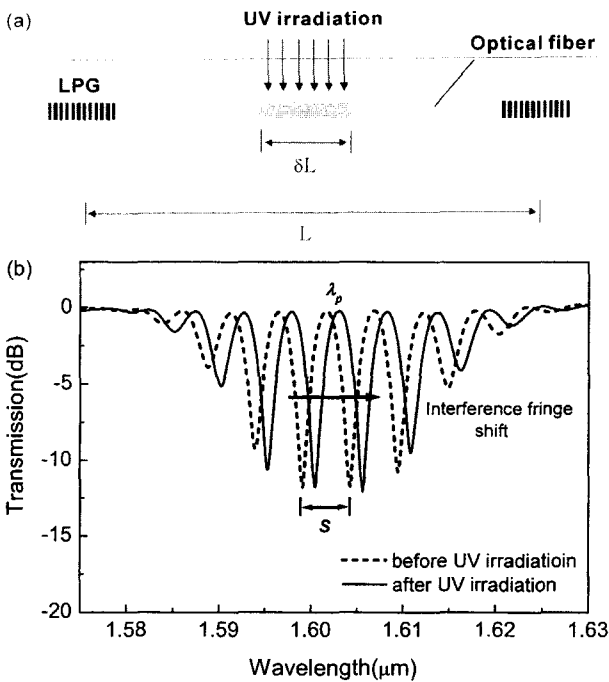
Vapor Deposition(MCVD) 공정을 사용하여 제조하였다. 먼저  $\text{SiCl}_4$ (100 SCCM)와  $\text{O}_2$ (1000 SCCM) 및 He(2000 SCCM) 등이 배합된 원료가스를 고순도의 실리카 유리 튜브내부로 유입시키고 수소/산소 버너를 사용하여 유리튜브를 1980°C의 온도로 가열하여 원료가스의 반응을 유도하였다. 고온 산화반응으로 생성된 미세 실리카 유리입자는 유리튜브 안쪽 표면에 증착되며 내부클래딩 층으로 형성되었다. 광섬유의 코어가 되는 조성의 증착을 위해서는 원료가스로  $\text{SiCl}_4$ 에  $\text{GeCl}_4$  및  $\text{BCl}_3$ 를 첨가하여 사용하였다.

$\text{GeCl}_4$ 는 광섬유 코어의 굴절률과 광민감성을 동시에 증가시키기 위하여 첨가하였으며, 코어 층의 증착온도는 1980°C로 유지하여 미세 유리입자들이 증착과 동시에 소결(sintering)되도록 하였다.  $\text{BCl}_3$ 를 첨가한 이유는 광민감성의 증가를 위해 첨가한  $\text{GeCl}_4$ 의 양이 증가할수록 굴절률이 증가하여 광섬유의 단일모드 조건이 달라지므로,  $\text{GeCl}_4$ 의 양의 증가에 따른 굴절률의 증가를 감소시키기 위함이었다. 광섬유 코어에 Ge 함량이 많을수록 Ge와 관련된 구조결함(defect)의 농도 또한 증가하여 UV 레이저를 조사할 경우 생성되는 GEC 및  $\text{GeE}'$  center 양 또한 증가하게 되어 광섬유의 UV 광민감성을 크게 향상시키는 효과를 가지고 있다.<sup>13)</sup> 광섬유의 광민감성을 극대화시키면서 단일모드 조건을 맞추기 위하여 원료가스의 유량을 바꾸어 가며 공정을 최적화시켰다. 클래딩과 코어층이 증착된 유리튜브를 2315~2355°C의 온도에서 수축(collapsing)공정과 봉합(sealing)공정을 거쳐 광섬유 모재를 제조하였다. 제조된 광섬유 모재를 광섬유 인출기를 사용하여 2150°C의 인출 온도에서 30 m/min의 인출 속도로 외경 123  $\mu\text{m}$ 의 광섬유로 인출하였다. 인출 시 유리 광섬유는 기계적인 강도를 유지하고 공기로부터 침투되는 수분을 막기 위하여 이중의 폴리머 코팅처리를 하였다.

### 2.2. UV 폴링용 광섬유의 광민감성 측정

UV 조사에 의한 광섬유 코어에서의 굴절률의 증가를 광섬유의 광민감성 척도로 삼았으며, 장주기 격자쌍 방법을 이용하여 제조된 Ge와 B가 첨가된 광섬유의 광민감성을 측정하였다.<sup>9)</sup> Fig. 1(a)에 UV 조사에 따른 광섬유의 광민감성을 측정하는 실험방법을 도식적으로 나타내었다. 일반적으로 장주기 격자는 광섬유 위에 주기적인 빗살무늬 형태의 홈을 낸 진폭마스킹(amplitude mask)을 얹고 UV 레이저를 조사하여 광민감성을 가지고 있는 광섬유 코어에 주기적인 굴절률 변화를 일으켜 만든다. 장주기 격자를 광섬유에 쌍으로 나란히 형성시킨 다음 이 장주기 격자쌍 사이의 광섬유 부분에 UV를 조사하여 조사에 따른 투과 스펙트럼의 변화를 측정하여 굴절률의 변화를 계산할 수 있다.

광섬유 코어를 진행하는 광신호는 첫번째 장주기 격자를 통과하면서 일부가 클래딩으로 커플링되어 클래딩 모



**Fig. 1.** Schematic of (a) a fiber with a long period fiber grating pair for the measurement of UV induced refractive change and (b) interference fringe shift in a transmission spectrum before and after UV irradiation.

드를 형성하며 이동하고 나머지 일부는 계속 코어모드를 형성하며 코어를 따라 이동하게 된다. 첫번째 장주기 격자에서 클래딩으로 커플링되어 이동하던 광신호는 두번째 장주기 격자를 통과하면서 다시 코어로 커플링되어 코어로만 계속 이동하던 광신호와 만나게 된다. 두번째 장주기 격자를 통과한 후 코어에서 다시 만난 두 광신호는 장주기 격자쌍 사이를 이동하는 동안 서로 다른 광경로를 가지게 되어 상대적인 위상 차가 발생하게 되고 따라서 광섬유의 투과 스펙트럼 상에 간섭무늬(interference fringe)가 만들어진다. 이러한 간섭무늬는 장주기 격자쌍 사이에서 발생하는 코어 모드와 클래딩 모드 사이의 광경로 차에 변화가 생길 경우, 즉 코어 굴절률이 변할 경우 이동을 하게 된다. 장주기 격자쌍 사이의 광섬유에 UV를 조사할 경우에는 광섬유 코어의 굴절률이 증가하게 되어 간섭무늬는 장파장 쪽으로 이동하게 되는데 이를 Fig. 1(b)에 도식적으로 나타내었다. 레이저 조사에 따른 간섭무늬의 이동량( $\Delta\lambda$ )을 측정하여 광섬유의 광민감성인 UV 조사에 의한 굴절률 변화량( $\Delta n$ )을 다음 식을 이용하여 계산할 수 있다.<sup>14)</sup>

$$\Delta n \approx \frac{\lambda_p}{\eta \delta L S} \Delta \lambda \quad (1)$$

식(1)에서  $\lambda_p$ ,  $\eta$ ,  $\delta L$  및  $S$ 는 각각 장주기 격자의 공진

파장, 광섬유에서 빛이 코어에 집중되는 정도를 나타내는 field confinement factor, 레이저가 조사된 부분의 길이 및 간섭무늬 사이의 간격을 각각 나타낸다.<sup>15)</sup> 단일 모드 광섬유의 field confinement factor는 광섬유의 굴절률 분포로부터 다음 식을 이용하여 계산된다.<sup>16)</sup>

$$\eta = \frac{b^2}{V^2} \left[ 1 - \frac{J_0^2(V\sqrt{1-b})}{J_1(V\sqrt{1-b})J_{-1}(V\sqrt{1-b})} \right] \quad (2)$$

식(2)에서  $b$ 와  $V$ 는 각각 광섬유의 normalized effective index와 normalized frequency를 나타내며 광섬유의 굴절률 분포로부터 계산할 수 있다. 그리고  $J$ 는 Bessel 함수를 나타낸다.

먼저 격자주기가 200  $\mu\text{m}$ 이고 격자길이가 2 cm인 진폭 마스크(amplitude mask)를 광섬유 위에 설치한 후 248 nm 파장의 KrF 엑시머 레이저를 이용하여 각 격자 사이의 거리( $L$ )가 10 cm가 되도록 장주기 격자쌍을 광섬유에 형성시켰다. 다음 격자쌍 중간부분의 길이 2 cm 부분에 같은 248 nm 파장의 KrF 엑시머 레이저를 조사하면서 조사량에 따른 간섭무늬의 이동을 관찰하였고, 식(1)을 이용하여 제조된 광섬유의 굴절률의 변화 즉 광민감성을 측정하였다.

### 2.3. H자 형상의 광섬유 제조

풀링용 광섬유 제조에 있어서 가장 어렵고도 중요한 부분 중의 하나가 광섬유 코어에 풀링할 때 고전압을 가하기 위한 전극(electrode)을 설치하는 것이다. 풀링용 광섬유는 원형의 단면을 갖는 광섬유로는 고전압을 쉽게 인가할 수가 없어 광섬유에 고전압을 걸 수 있는 구조로 만들어 주어야 한다. 일반적으로 광섬유 모재의 코어 양단에 축방향으로 두 개의 구멍을 뚫어 광섬유로 인출한 후 미세 금속선을 심는 방법이나 원형의 광섬유를 인출한 후 연마장비를 사용하여 단면이 D자 형상이 되도록 연마하는 방법이 널리 사용된다.<sup>2-5)</sup> 그러나 이러한 방법은 광섬유 모재에 구멍을 뚫거나 광섬유를 정밀하게 연마해야 하며, 또한 수십  $\mu\text{m}$  크기로 미세한 구멍이 난 광섬유에 전극을 심어야 하는 등 상당한 시간과 숙련된 기술이 필요한 작업을 해야 하는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 원형 모재를 광섬유로 인출한 후 연마하는 방법을 사용하는 대신, 광섬유 모재의 양쪽 측면을 절단하여 H자 형상으로 만든 후 H 형상이 유지된 광섬유로 직접 인출하는 방법을 고안하였다. 풀링용 광섬유 제조를 위하여 광민감성이 우수한 최적상태의 광섬유 모재와 동일한 MCVD 공정 조건으로 Ge과 B가 첨가된 광섬유 모재를 제작하였다. MCVD 공정에 의하여 만들어진 광섬유 모재의 양쪽 측면을 다이아몬드 절단기를 이용하여 잘라 H자 모양으로 만들고, 이 모재를 같은 모양을 유지하도록 인출 온도를

조절하면서 광섬유 인출기를 이용하여 광섬유로 인출하였다. 인출 온도 및 인출 속도에 따른 광섬유의 인출 및 최종 단면 조사를 통해 실리카 유리의 점성 강하로 인하여 광섬유 모재의 H자 형상에 변형이 일어나지 않는 최적의 인출 조건을 결정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. Ge와 B가 첨가된 광섬유 모재의 특성

광섬유 코어에 Ge의 함량이 증가할수록 광민감성은 증가하나 Ge만 단독으로 코어에 과량으로 첨가할 경우 광섬유에 단일모드 대신 다중모드가 형성되는 문제점이 발생한다. 따라서, 과량의 Ge 함유에 의하여 단일모드 형성 조건 이상으로 광섬유 코어의 굴절률 증가를 막기 위하여 광섬유 코어에 B를 Ge와 함께 첨가하여 광섬유 모재를 제조하였다. 또한 B의 첨가는 광섬유의 광민감성을 극대화시키는 효과를 가지고 있다.<sup>13)</sup> 반면, B를 적정량 이상으로 코어에 첨가할 경우에는 코어의 굴절률이 감소하여 전반사 조건이 만족되지 않아 코어모드가 형성되지 않는 문제가 발생하였다. 따라서 최적의 코어 조성을 위해 원료가스의 유량을 바꾸어가며 광섬유 모재를 제조하였다. 실험 결과 단일모드 조건을 만족하면서 광민감성이 우수한 코어층의 증착을 위한 원료가스의 최적 유량은 SiCl<sub>4</sub> 100 SCCM, GeCl<sub>4</sub> 300 SCCM 및 BCl<sub>3</sub> 30 SCCM에서 얻었다. 최적화된 상기 조건으로 제조된 광섬유 모재의 지름방향의 굴절률 분포는 He-Ne 레이저를 사용하는 광섬유 모재 굴절률 측정기(York Technology, P-101)를 이용하여 측정하였으며, 제조된 광섬유 모재의 코어와 클래딩의 굴절률 차이는 대략 0.0035로 단일모드 전파 조건을 만족하였다.

#### 3.2. Ge와 B가 첨가된 광섬유의 광민감성 측정

Fig. 2에 SiCl<sub>4</sub> 100 SCCM, GeCl<sub>4</sub> 300 SCCM 및 BCl<sub>3</sub> 30 SCCM의 원료가스 유량으로 만든 광섬유 위에 길이 2 cm이고 격자주기가 200 μm인 장주기 격자를 새길 때 KrF 엑시머 레이저의 조사시간에 따라 측정된 투과 스펙트럼을 나타내었다. 광섬유에 조사된 레이저의 펄스 에너지는 약 116 mJ/cm<sup>2</sup>이었고 펄스의 조사 빈도는 10 Hz이었다. 장주기 격자의 격자 주기의 크기로부터 예측되는 1.47 μm 파장 근방에서 광흡수가 일어남을 알 수 있다. 이는 광흡수 파장영역에서 코어 모드를 형성하여 진행하는 빛이 주기적인 굴절률 변화로 만들어진 장주기 격자를 만나 산란에 의하여 클래딩 모드로 커플링되어 일어나는 band rejection 현상 때문이다.<sup>17)</sup> 레이저 조사 시간이 길어질수록 band rejection 특성이 점점 증가하여 1 min 동안 레이저를 조사하였을 때 1.47 μm의 파장에서 광 투과량이 -4 dB이던 것이 6 min 동안 레이저를 조사하였을 때는 1.51 μm

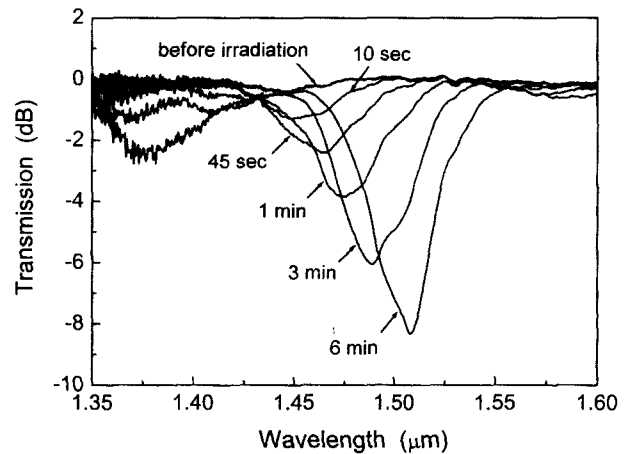


Fig. 2. Change in transmission spectrum during formation of a single long period fiber grating onto the Ge/B-doped fiber upon the KrF excimer laser irradiation.

의 파장에서 광 투과량이 -8 dB로 현저히 감소하는 것을 볼 수 있었다. 이러한 큰 band rejection 특성은 본 연구에서 제조된 Ge와 B가 첨가된 광섬유의 광민감성이 매우 큰 것임을 보여준다. 3 dB 이상의 큰 band rejection을 유도하기 위해서는 ~10<sup>-3</sup> 정도의 큰 굴절률 변화가 광섬유 코어에 유도되어야 한다.<sup>16)</sup> 일반적인 광섬유에서는 UV 조사에 의한 큰 굴절률의 변화를 기대할 수 없으며, 이런 경우 광민감성 증대를 위해 광섬유 코어에 수소를 확산시켜 유리조직 내의 구조결함을 증가시키고자 하는 수소처리(hydrogen loading)공정을 거친다.

BCl<sub>3</sub> 유량을 30 SCCM 보다 적게 사용하여 만든 광섬유들에도 이상과 동일한 조건으로 KrF 엑시머 레이저를 조사하여 광민감성을 확인하였지만 band rejection 특성을 거의 확인할 수가 없었다. 반면에 BCl<sub>3</sub> 유량을 30 SCCM 보다 많이 사용하여 광섬유를 제조할 경우에는 코어의 굴절률이 단일모드를 형성하기에 너무 낮아 광섬유 코어를 통하여 빛이 전파되지 않는 문제점이 발생하였다.<sup>13)</sup>

본 연구에서는 광민감성을 정확하게 측정하기 위하여 장주기 격자쌍에 의한 간섭무늬의 이동을 측정하는 방법을 이용하였다. 장주기 격자쌍이 새겨진 광섬유의 중간 길이 2 cm 부분에 KrF 엑시머 레이저를 조사하면서 조사 시간 즉, 조사량에 따른 간섭무늬의 이동을 측정하였다. Fig. 3에 장주기 격자쌍을 통과한 투과 스펙트럼의 레이저 조사에 따른 변화를 나타내었다. 레이저 조사량이 증가할수록 간섭무늬가 장파장 쪽으로 이동하고 있음을 볼 수 있으며, 이는 Ge와 B가 첨가된 광섬유 코어의 굴절률이 레이저 조사에 의하여 증가하고 있음을 말한다. 688 mJ/cm<sup>2</sup> 과 1651 mJ/cm<sup>2</sup>의 레이저 조사에 의하여 간섭무늬가 조사 이전에 비하여 각각 0.0020 nm와 0.0024 nm만큼 장파장 쪽으로 이동하였다.

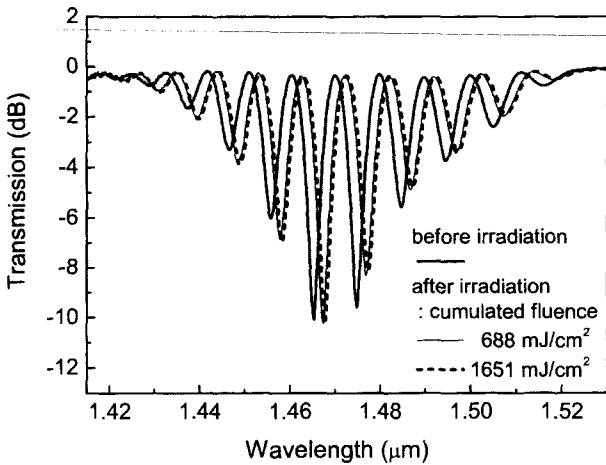


Fig. 3. Interference fringe shift of the Ge/B-doped optical fiber with a long period fiber grating pair upon KrF excimer laser irradiation.

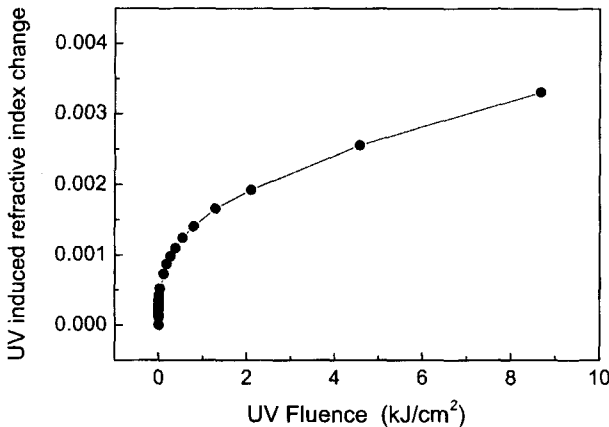


Fig. 4. Refractive index change of the core of the Ge/B-doped fiber with the UV fluence upon KrF Excimer laser irradiation.

KrF 엑시머 레이저에 조사에 따른 장주기 격자의 간섭 무늬의 이동으로부터 Ge와 B가 첨가된 광섬유 코어의 굴절률 변화 크기를 식(1)을 이용하여 계산하였다. 계산에 사용된  $\lambda_m$ ,  $\delta L$  및  $S$ 는 각각 1.456  $\mu\text{m}$ , 2 cm 및 9.4 nm이었다. 또한 광섬유의 굴절률 분포로부터  $b$  및  $V$  값을 계산하여 각각 0.041 및 1.0을 얻었으며 이것을 식(2)에 대입하여  $\eta$  값으로 0.17을 얻었다. Fig. 4는 누적된 레이저 조사량(cumulated fluence)에 따른 광섬유 코어의 굴절률 변화를 보여준다. 레이저 조사량이 8.67  $\text{kJ}/\text{cm}^2$ 일 때 광섬유 코어의 굴절률 변화는 약  $3.3 \times 10^{-3}$ 이었다. 이러한 굴절률 변화는 수소처리 없이 광섬유에 광섬유 격자를 형성시키기에 충분한 크기이다. 따라서 Ge와 B가 첨가된 실리카 유리 코어를 가진 광섬유는 매우 큰 UV 광민감성을 가지고 있으며, 또한 UV 폴링에 의하여 큰 이차 비선형 광학특성을 발현할 수 있을 것으로 예상된다.

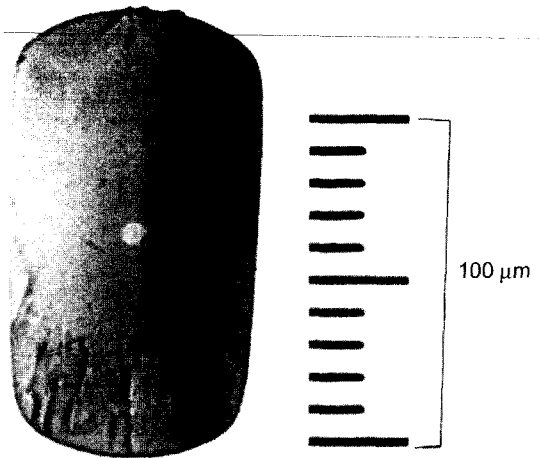


Fig. 5. Cross-section of the H-shaped optical fiber drawn at 1950°C with the drawing speed of 10 m/min.

### 3.3. H자 형상의 광섬유 제조

단면이 H자 형상의 광섬유 모재를 인출속도를 10 m/min으로 유지하며 1900~2150°C 범위에서 인출온도를 바꾸어가며 모재의 H자 모양에 변형이 일어나지 않는 최적의 광섬유 인출온도를 결정하였다. 1950°C가 광섬유 모재의 H자 형상을 그대로 유지하면서 광섬유로 인출할 수 있는 최적의 인출온도이었다. 1950°C 보다 높은 온도에서 인출할 경우 모재의 점성이 낮아져 H자 단면 모양에 변형이 크게 일어났으며, 반면에 인출온도가 1950°C 보다 낮을 때는 점성이 높아 인출 시 광섬유가 쉽게 끊어지는 문제점이 발생하였다.

Fig. 5에 1950°C의 인출온도에서 광섬유로 인출된 H자 형상의 광섬유 단면의 광학 현미경 사진을 나타내었다. 장축의 길이는 약 130  $\mu\text{m}$ 이고 단축의 길이는 약 60  $\mu\text{m}$ 이다. 광섬유 중심에 보이는 밝은 원무늬는 지름이 약 8  $\mu\text{m}$ 인 코어를 나타낸다. 그림에서 보듯이 큰 변형없이 H자 모양이 잘 유지되고 있음을 알 수 있다. H자 형상으로 제조된 광섬유의 경우 광섬유 코어 양쪽의 평평한 면에 전극을 설치하여 광섬유 코어에 높은 전기장을 보다 쉽게 인가할 수 있을 것으로 예상된다.

## 4. 결 론

2차 비선형 광특성을 유도하기 위한 UV 폴링용 광섬유로 사용하기 위하여 Ge와 B가 첨가된 광섬유를 제작하였다. 제조된 광섬유의 UV 광민감성을 장주기 격자쌍 방법을 이용하여 측정하였다. 펄스 에너지가 116  $\text{mJ}/\text{cm}^2$ 이고 조사 빈도가 10 Hz인 248 nm KrF 엑시머 레이저를 사용하여 Ge와 B가 첨가된 광섬유에 장주기 격자를 새길 경우 1분간의 레이저 조사에 의하여 -4 dB의 우수한 band rejection을 얻었다. UV 조사에 의한 광민감성 결과

로는  $8.67 \text{ kJ/cm}^2$  레이저 조사량에 의하여 광섬유 코어에  $3.3 \times 10^{-3}$ 의 큰 굴절률의 변화를 유도할 수 있었다. 광섬유 코어에 고전압을 쉽게 인가할 수 있는 H자 형상의 광섬유를 제조하였으며, 이때 최적의 인출조건은 인출온도  $1950^\circ\text{C}$ . 인출속도  $10 \text{ m/min}$ 이었다.

### 감사의 글

이 논문은 2000년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2000-042-E00122).

### REFERENCES

1. P. G. Kazansky, P. St. J. Russell and H. Takebe, "Glass Fiber Poling and Applications," *J. Lightwave Tech.*, **15** 1484-93 (1997).
2. M. V. Bergot, M. C. Farries, M. E. Fermann, L. Li, L. J. Poyntz-Wright, P. St. J. Russell and A. Smithson, "Generation of Permanent Optically Induced Second-order Nonlinearities in Optical Fibers by Poling," *Opt. Lett.*, **13** 592-95 (1988).
3. R. A. Myers, N. Mukherjee and S. R. J. Brueck, "Large Second-order Nonlinearity in Poled Fused Silica," *Opt. Lett.*, **16** 1732-34 (1991).
4. T. Fujiwara, D. Wong, Y. Zhao, S. Fleming, S. Poole and M. Sceats, "Electrooptic Modulation in Germanosilicate Fiber with UV-excited Poling," *Electron. Lett.*, **31** 573-75 (1995).
5. W. Xu, P. Blazkiewicz and S. Fleming, "Silica Fiber Poling Technology," *Adv. Mater.*, **13** 1014-18 (2001).
6. P. N. Prasad and D. J. Williams, Introduction to Nonlinear Optical Effect in Molecules and Polymers, Wiley, New York, 1991.
7. N. Mukherjee, R. A. Myers and S. R. J. Brueck, "Dynamics of Second-harmonic Generation in Fused Silica," *J. Opt. Soc. Am. B*, **11** 665-69 (1994).
8. P. G. Kazansky and P. St. J. Russel, "Thermally Poled Glass: Frozen-in Electric Field or Oriented Dipoles?," *Opt. Commun.*, **110** 611-14 (1994).
9. W. Xu, J. Arentoft, D. Wong and S. Fleming, "Evidence of Space-charge Effects in Thermal Poling," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, **11** 1265-67 (1999).
10. M. Takahashi, T. Fujiwara, T. Kawachi and A. J. Ikushima, "Defect Formation in  $\text{GeO}_2$ - $\text{SiO}_2$  Glass by Poling with ArF Laser Excitation," *Appl. Phys. Lett.*, **71** 993-95 (1997).
11. B. P. Antonyuk, V. B. Antonyuk and A. A. Frolov, "Charge Transfer Excitations in Ge-doped Silica Fibers and their Response to Static Electric Field," *Opt. Commun.*, **174** 427-34 (2000).
12. A. De Francesco and G. E. Tow, "Modeling of Photoinduced Charge Separation in Germanosilicate Optical Fibers During UV-excited Poling," *J. Quantum Electron.*, **36** 59-69 (2000).
13. D. L. Wililams, B. J. Ainslie, J. R. Armitage, R. Kashyap and R. Campbell, "Enhanced UV Photosensitivity in Boron Codoped Germanosilicate Fibres," *Electron. Lett.*, **29** 45-7 (1993).
14. T.-J. Ahn, B. H. Kim, B. H. Lee, Y. Chung, U. C. Paek and W.-T. Han, "Measurement of Refractive-index Change Upon UV Irradiation of Optical Fiber Using a LPG Pair," in Technical Digest of 5th Optoelectronics and Communications Conference (Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, Tokyo, 2000), paper 12P-45.
15. B. H. Lee and J. Nishii, "Dependence of Fringe Spacing on the Grating Separation in a Long-period Fiber Grating Pair," *Appl. Opt.*, **38** 3450-59 (1999).
16. T. Erdogan, "Fiber Grating Spectra," *J. Lightwave Technol.*, **15** 1277-94 (1997).
17. A. M. Vengsarkar, P. J. Lemaire, J. B. Judkins, V. Bhatia, T. Erdogan and J. E. Sipe, "Long-period Fiber Gratings as Band-rejection Filters," *J. Lightwave Technol.*, **14** 58-65 (1996).