

論文2000-37SD-7-4

광섬유격자 제작을 위한 수소 처리 방법 연구

(The Hydrogen Loading Method for FBG Fabrication)

宋政桓*, 李景植**

(Jeong Hwan Song and Kyung Shik Lee)

요 약

다양한 수소처리 조건에 의하여 수소 처리된 광섬유에 광섬유 격자를 제작하여, 광섬유 코어 내에 포화된 수소분자 농도와 광섬유 격자의 굴절률 변화폭(photoinduced index modulation)과의 관계를 분석하여 보았다. 실험으로 측정된 광섬유 격자의 굴절률 변화폭은 코어 내에 수소분자 농도가 100ppm 증가함에 따라서 $\sim 2 \times 10^{-5}$ 만큼 증가하였다. 그리고 광감도현상에 관여하는 전체결함, 즉 GeE'센터와 GeH결함은 포화된 수소농도 100ppm 당 대략 $3.8 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 만큼 많아지는 것으로 추정된다.

Abstract

The relationship between calculated hydrogen molecular concentration in fiber core and measured index change during the grating growth is analyzed. The index change increases by $\sim 2 \times 10^{-5}$ per 100ppm of H_2 concentration in standard telecommunication optical fiber and the defects related photosensitivity generate $\sim 3.8 \times 10^{17}$ per 100ppm of H_2 .

I. 서 론

최근 광통신 소자로 각광을 받고 있는 광섬유 격자는 광섬유의 광감도(photosensitivity) 현상과 크게 연관되어 있으며, 광감도 향상을 위한 연구는 광섬유 격자 제작 기술과 병행되어 발전되어 왔다. 광감도 향상을 위한 방법으로는 광섬유 코어 내에 많은 양의 Ge를 도핑시켜 Ge 근처에 산소가 하나 결핍된 결함(Germanium Oxygen Deficiency Center, GODC)을 증가시키는 방법

^[1,2]과 Ge과 여러 가지 물질, 예를들면, 보론(B)^[3], 주석(Sn)^[4], 질소(N)^[5] 등을 함께 도핑 시키는 방법, 격자가 제작될 장소에 수소 불꽃을 처리하는 플래임 브러싱(Flame brushing) 방법^[6], 그리고 수소 환경에 광섬유를 일정시간 노출시켜 수소를 광섬유 코어 내에 흡수시키는 수소 처리법(Hydrogen loading)^[7]이 있다. 여러 가지 광감도 향상법 중 Ge의 도핑량을 늘리거나 여러 가지 물질을 동시에 도핑시켜 광섬유의 광감도를 향상시키는 방법은 광섬유 제조 과정에서 특수한 공정을 필요로 하며, 이러한 이유로 광섬유의 가격이 고가라는 단점이 있다. 그러나 광섬유의 수소 처리를 통한 광감도 향상법은 광섬유 제조시 특수한 공정이 필요하지 않으며, 일반 통신용 광섬유에 직접 처리하여 매우 우수하게 광감도가 향상된다는 장점을 갖고 있다.

본 논문에서는 이러한 장점을 지닌 수소 처리 방법에 대하여 연구하여 보았다. 본 연구를 통하여 확산방정식으로 수소가 광섬유 내로 포화되는 과정과 수소 처리 온도, 압력 그리고 시간을 변수로 하여 광섬유 내로 수소가 포화되는 경향을 시뮬레이션 하여 예측해 보았다. 그리고 확산방정식의 해를 이용하여 수소 처리

* 正會員, 三星電子(株) 情報通信總括 光素材事業팀 技術開發그룹

(Engineering and R&D Group Optical Communication Products Division Information and Telecommunication Business SAMSUNG ELECTRONICS CO. LTD.)

** 正會員, 成均館大學校 電氣電子 및 컴퓨터 工學部
(The School of Electrical and Computer Engineering SungKyunKwan University)

接受日字:2000年1月28日, 수정완료일:2000年6月12日

시 광섬유 코어 내에 포화되는 수소 농도를 예측하여 이를 광섬유 격자 제작에 응용할 수 있음을 제시하였다. 먼저, 서로 다른 조건 하에 일반 통신용 광섬유를 수소 처리하여, 이러한 조건들로 시뮬레이션을 하여 광섬유 코어내의 포화된 수소농도를 추정하여 보았다. 각각 추정된 서로 다른 포화 수소 분자 농도를 갖는 광섬유에 동일조건으로 광섬유 격자를 제작하고, 제작된 광섬유 격자에서의 굴절률 변화폭(photoinduced index modulation)을 측정하여, 그 관계를 알아보았다. 그리고 광감도 현상에 주원인으로 알려진 결함들을 결함이론으로써, 수소 처리를 할 때 생성되는 결함들의 수를 추정하여 보았고, 추정된 결함의 수와 광섬유 격자의 굴절률 변화폭과의 관계를 살펴보았다.

II. 수소 처리된 Ge 도핑 광섬유에서의 광감도 이론

Ge이 도핑된 실리카 광섬유에 UV빔을 조사시켰을 때 생기는 굴절률 변화는 광섬유의 stress-optic 효과와 칼라 센터(color center) 이론에 근거하여 광섬유 제조 공정상에 발생하는 여러 가지 결함들에 의한 것으로 보고되고 있다^[1,2]. 광섬유를 수소 처리하여 격자를 제작할 때 광섬유 코어내의 결함들이 굴절률 변화에 매우 큰 작용을 한다. 이러한 결함은 Ge-O-Si구조에서 Ge근처의 산소(O)의 결핍으로 발생하는 GODC (Germanium Oxygen Defects)로 알려져 있으며, 이러한 GODC는 UV빔에 의하여 GeE'센터로 전위된다. 이러한 GeE'의 연속적인 생성으로 인하여 굴절률의 변화가 야기된다. 특히 광섬유를 수소 환경 내에 일정 시간 노출시키는 수소 처리 방법에 의하여 수소 처리된 Ge이 도핑된 광섬유 안에서는, 이러한 GeE'센터와 함께 OH결합들이 함께 생성되어 굴절률 변화가 일어나는 것으로 보고된 바있다^[7]. 그러나 최근 미국의 A. D. Heaney 와 T. Erdogan^[8]에 의하면 수소분자가 포화된 실리카 글라스에 UV빔을 조사시키면 많은 양의 OH결합들이 생성되나, 직접적으로 굴절률변화(Δn)를 일으키는 가장 큰 요인으로는 GODC, 즉 GeE'센터인 것으로 주장하고 있다. 또한 미국 해군연구소의 Tsung-Ein Tsai 등^[9]은 수소분자가 포화된 광섬유에 UV빔을 조사시켰을 때 GeE'센터 및 GeE'센터와 수소가 반응해 생긴 GeH결합, 그리고 GeE'센터와 GeH결합이외의 부수적인 결함발생으로 인하여 굴절률 변화

가 야기되는 것으로 그의 논문[9]을 통해서 발표한 바 있다. 따라서 수소 처리된 Ge 도핑 광섬유가 엑시머레이저(248nm)에 노출될 때, GeE'센터와 GeH결합이 굴절률 변화에 가장 크게 기여한다는 이론[9]에 근거하여 광감도가 있는 광섬유에서의 굴절률 변화폭을 아래와 같이 나타낼 수 있다^[9].

$$\Delta n = k_{GeE'}[GeE'] + k_{GeH}[GeH] + k_X[X] \quad (1)$$

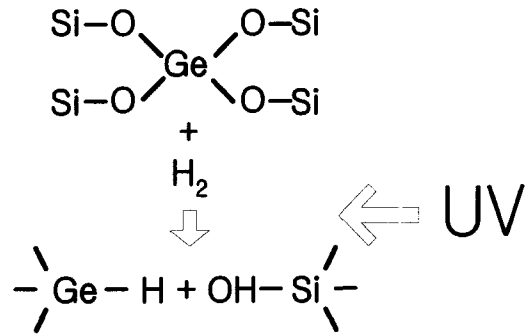


그림 1. 수소 처리에 의한 GeH 결함생성 개략도
Fig. 1. Schematic of generated GeH defect by hydrogen loading.

여기서, 비례상수 $k_{GeE'}$ 과 k_{GeH} 값은 각각 $\sim 6.0 \times 10^{-23}[\text{cm}^3]$ 와 $\sim 4.5 \times 10^{-23}[\text{cm}^3]$ 이며, $[GeE']$ 과 $[GeH]$ 는 각각 GeE'센터와 GeH결합의 단위 체적 $[\text{cm}^3]$ 당 개수이다. 또한 $[X]$ 는 GeE'센터와 GeH결합 이외의 광섬유 굴절률 변화폭 Δn 에 미치는 결함의 단위체적 $[\text{cm}^3]$ 당 개수를 의미한다. 상수 k_X 는 결함 X에 의한 굴절률변화(Δn)의 비례상수이다. 본 논문에서는 Ge이 도핑된 수소 처리된 광섬유에서의 굴절률 변화가 식(1)을 바탕으로 수소 처리정도가 다른 광섬유에서의 굴절률 변화를 정량적으로 분석하고자 하였다. UV빔 조사시 발생하는 굴절률변화 (Δn)에는 GeE'센터와 GeH결합이 주로 가장 많은 영향을 미치므로 그 이외의 결함, 즉 X는 무시하였다. 결함 GeH는 GeE'센터와 광섬유 코어 내에 있는 수소분자와 결합하여 그림1과 같은 과정을 거쳐 생기며 아래와 같은 식으로 설명될 수 있다.



GeE'센터는 광섬유 제조 시 이미 광섬유 코어 내에 존재하며, 수소 처리된 광섬유에 UV빔 조사에 의하여 그림2와 같은 형태로 그 수가 증가한다^[10].

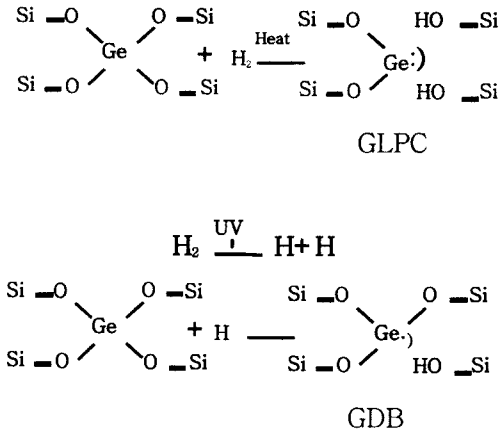


그림 2. 수소 처리에 의한 GeE' 센터 결함생성 개략도 [위: 열 적 효과에 의한 결함생성(GLPC), 아래: UV빔에 의한 결함생성(GDB)]
 Fig. 2. Schematic of generated GeE' center by hydrogen loading. [above: generated defect by heat effect(GLPC), below: by UV exposure(GDB)]

이러한 이론으로부터, GeE' 센터 및 GeH결합의 수와 수소 처리된 Ge이 도핑된 광섬유 내에서의 굴절률 변화폭을 실험을 통하여 알아보기 위하여, Ge 도핑 광섬유에 다양한 조건으로 수소 처리하여 광섬유 격자를 제작하고 그 굴절률을 측정하였다. 먼저, 여러 가지 조건으로 수소 처리한 광섬유 코어 내에 확산된 수소 분자의 농도를 알아보기 위하여 아래와 같이 주어지는 확산방정식^[11-13]

$$\frac{C(r,t)}{C_0} = 1 - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\exp(-D\alpha_n^2 t) J_0(\alpha_n r)}{\alpha_n J_1(\alpha_n a)} \quad (3)$$

을 이용하였다. 여기에서 a는 광섬유의 반지름이고 J₀와 J₁은 위수가 각각 0과 1인 제 1종 베셀 함수며 r은 광섬유 코어의 중심에서부터 떨어진 반경방향의 위치이다. 광섬유의 지름 2a가 125μm라고 가정한다면, 0 ≤ r ≤ 62.5μm이다. C₀는 압력 P와 절대 온도 T에 따른 초기수소 농도이며, D는 수소 분자의 확산 상수로 다음과 같은 식들로 표현된다.

$$c_0 = P \times 337 \exp\left(\frac{1.0416 \times 10^3}{T}\right) \quad [\text{ppm}] \quad (4)$$

$$D = 2.83 \times 10^{-4} \exp\left(\frac{-40,19}{RT}\right) \quad [\text{kJcm}^2 / \text{mol} \cdot \text{s}] \quad (5)$$

여기에서, R은 몰 기체상수 [J/(mol · K)]로써 8.31441의

값을 갖는다.

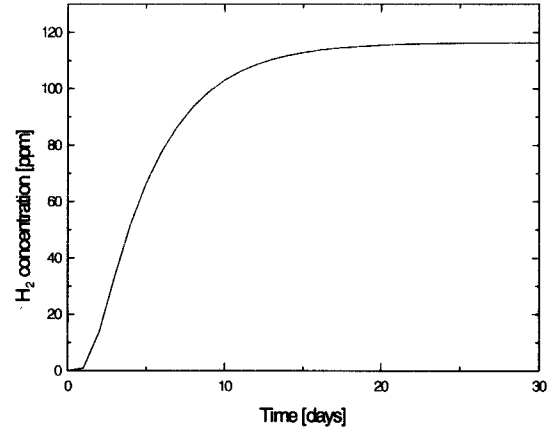


그림 3. 1기압 상온(21℃)에서 수소 처리하였을 때의 시간에 따른 광섬유 내로 포화되는 수소 분자의 농도
 Fig. 3. Hydrogen concentration as a function of time (loading condition: 1atm, 21℃).

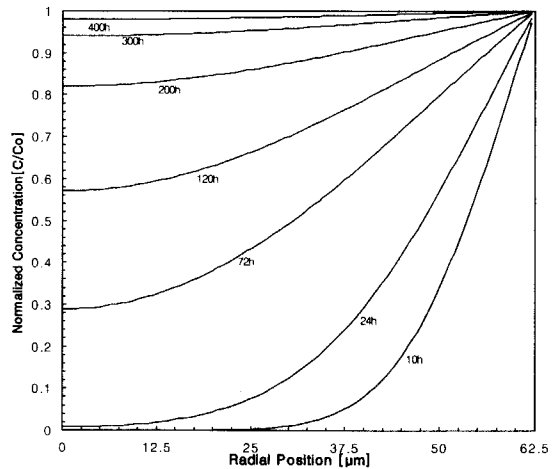


그림 4. 상온(21℃)에서 광섬유 반경과 수소 처리 시간에 따른 수소 분자의 농도 분포
 Fig. 4. Normalized hydrogen distribution as a function of radial position at 21℃.

그림 3은 위 식을 사용하여 지름이 125μm인 광섬유가 1기압 상온(21℃)에서 수소 처리될 때의 시간에 따라서 수소분자가 광섬유 내로 포화되는 농도를 나타내는 그림이다. 시간이 지남에 따라 광섬유 코어 내에 수소분자의 농도가 점차 증가하다가 13일 이후에는 거의 평형을 유지하는 것을 보여 주고 있다. 평형을 유지하는 광섬유 코어 내의 수소분자 농도는 약 116ppm이었다. 여기에서, 1ppm은 실리카(SiO₂) 1몰 당 수소 분자

(H₂) 10⁶몰을 의미한다^[7]. 수소분자의 농도는 압력이 높을수록 그리고 온도는 낮을수록 그 포화되는 양은 증가함을 위의 관계식을 통하여 알 수 있다. 그리고 광섬유 코어 내에 수소 분자의 농도 분포를 알아보기 위하여 광섬유 반경과 시간에 따라 시뮬레이션해 보았다. 온도는 상온(21℃)으로 하였다. 그림 4에서와 같이 10시간, 24시간, 72시간, 120시간, 200시간, 300시간, 그리고 400시간의 수소 처리를 하였을 경우, 광섬유 내에 포화되는 수소 분자의 농도를 규격화시켜 나타내었다. 광섬유와 외부 수소 환경과 접해 있는 62.5 μ m 지점의 경우 수소 처리 시간에 무관하게 빠른 시간 내에 수소 분자가 확산되는 것을 알 수 있으며, 반대로 광섬유의 중심 지점에는 상온에서 10시간 동안 수소 처리하였을 때는 포화된 수소 분자가 거의 없는 것을 나타내 주고 있다. 일반 광섬유 코어의 반지름을 4 μ m라고 하였을 때 광섬유 클래딩 부분의 바깥쪽은 약간의 수소 분자가 포화되어 있고 코어 내에는 수소 분자가 거의 포화되지 않음을 알 수 있다. 24시간 동안 상온에서 수소 처리하였을 경우에도 클래딩 바깥부분에만 수소가 포화되고 코어에는 수소 분자의 농도가 매우 적다는 것을 알 수 있다. 72시간과 120시간 동안 수소 처리한 경우, 코어 내에는 각각 29%와 58%의 수소 분자가 포화되는 것을 알 수 있으며 클래딩 바깥부분은 수소의 침투가 비교적 잘 일어나는 것을 알 수 있다. 200시간 수소 처리하는 경우, 광섬유의 중심부까지도 80%이상의 수소 분자가 포화되며, 300시간 및 400시간 동안 수소 처리 시에는 광섬유 전체에 수소 분자가 95%이상 확산되어 포화되어 있음을 알 수 있다. 이와 같은 방법으로 수소 처리할 때, 수소 처리조건에 따라서 광섬유 코어 내에 포화되는 수소분자 농도를 예측할 수 있다.

III. 실험 및 결과분석

본 연구에서는, 광섬유의 수소 처리 조건으로 26.5~240시간, 압력은 30~50기압으로, 그리고 온도는 21~70℃ 범위 내에서 수소 처리조건을 각기 다르게 광섬유 샘플 7개를 수소 처리하였다. 샘플7개의 수소 처리조건은 표1과 같으며, 위 관계식(3)-(5)를 이용하여 계산된 광섬유 코어내의 포화 수소분자 농도는 815~4119ppm로 표1에 나타나 있다. 수소 처리에 사용된 광섬유는 일반 통신용 1300nm대 단일모드 광섬유이다. 이렇게 서로 다르게 수소 처리된 광섬유에서의 UV빔 조사에

따른 굴절률 변화폭(Δn)은 광섬유 격자를 제작한 후, 격자의 특성을 분석함으로써 구하는 방법을 사용하였다. 광섬유 격자의 제작은 KrF 엑시머레이저(LAMBDA PHYSIK COMpex 205)에서 나온 248nm의 UV빔을 원통형 렌즈로 10mm길이의 위상마스크(IBSEN사)에 집광시켜 위상마스크에서 회절되는 빔들을 간섭시켜 제작하였다. 광섬유 격자 제작시의 조건으로는, 555mJ/cm²의 에너지 밀도와 20Hz의 펄스 반복률로 엑시머레이저 빔을 10분간 조사하면서 OSA(optical spectrum analyzer, Ando사)로 투과 스펙트럼을 분석할 수 있었다. 수소 처리된 광섬유 샘플들과 비교하기 위하여, 먼저 수소 처리하지 않은 일반 통신용 광섬유 샘플에도 격자를 제작하여 보았다. 수소 처리를 하지 않았을 경우 ~22%의 반사율을 가지는 광섬유 격자가 형성되었으며, 수소 처리된 광섬유에 제작된 광섬유 격자와 마찬가지로 아래 식을 이용하여 굴절률의 변화를 측정할 수 있다.

$$\kappa_{ac}L = \tanh^{-1}(\sqrt{R}) \quad (6)$$

$$2\Delta\lambda = \frac{\lambda_B^2}{\pi n_{eff} L} \sqrt{(\kappa_{ac}L)^2 + \pi^2} \quad (7)$$

$$\kappa_{ac} = \frac{\pi \Delta n \eta}{\lambda_B} \quad (8)$$

위 식에서 R은 격자의 반사율이고, $2\Delta\lambda$ 는 격자의 투과 스펙트럼상의 양단의 첫 번째 zero지점간의 대역폭(Full Width between First Zeroes, FWFZ)이다. 여기에서 $\Delta\lambda$ 는 FWHM을 나타내며, 이론적으로 $2FWHM=FWFZ$ ^[11]이나, 실제 실험측정 시에는 FWHM의 경우에는 반사 스펙트럼을 측정함으로써 광섬유 격자 반사파장 양단의 리플들에 의한 영향으로 표 1과 같이 이론과 불일치하는 실험 결과를 얻었다. η 는 0.826^[2]로 가정하였고, κ_{ac} 는 격자에 의한 모드간의 결합계수이다. 또한 n_{eff} 는 광섬유 도파모드의 유효 굴절률으로써 ~1.447이고, L은 광섬유 격자의 길이로 10mm이다. 수소처리를 하지 않고 제작된 광섬유 격자의 경우 굴절률의 변화(Δn)는 2.64×10^{-5} 로 측정되었고, 수소 처리된 광섬유에도 동일한 제작방법으로 격자를 제작하였으며 측정된 격자의 특성과 굴절률 변화폭 값은 표 1과 같다. 표 1에서 보여 주는 것처럼, 샘플 2의 경우, 47시간 43기압 그리고 70℃로 수소 처리하였다. 이러한 수소 처리 조건은 광섬유 코어에 2997ppm의 농도

표 1. 실험에 사용된 수소 처리 조건과 이러한 조건에 의한 이론적 포화수소농도 및 제작된 광섬유 격자들의 특성

Table 1. Hydrogen loading condition with calculated hydrogen concentration and the characteristics of fabricated FBGs.

샘플	수소 처리 조건			이론적 포화수소 농도 [ppm]	제작된 광섬유 격자들의 특성				
	시간 [hours]	기압 [atm]	온도 [°C]		투과율 [dB]	$\Delta\lambda$ [nm]	λ_B [nm]	FWFZ [nm]	Δn
1	0	0	0	0	-1.12	~0.25	1541.7	*	2.64×10^{-3}
2	47	43	70	2997	-30.5	0.35	1542.45	0.6	6.50×10^{-4}
3	72	50	50	4021	-58	0.64	1542.8	0.7	7.80×10^{-4}
4	26.5	35.4	50	1663	-22.5	0.18	1542.35	0.3	2.85×10^{-3}
5	48	30	27	815	-1.95	~0.11	1541.9	*	4.12×10^{-3}
6	240	40	21	4119	-58.5	0.65	1542.95	0.8	9.00×10^{-4}
7	93	42	50	3509	-42.74	0.46	1542.65	0.7	7.70×10^{-4}
8	48	42	70	2943	-35.88	0.34	1542.35	0.4	4.20×10^{-4}

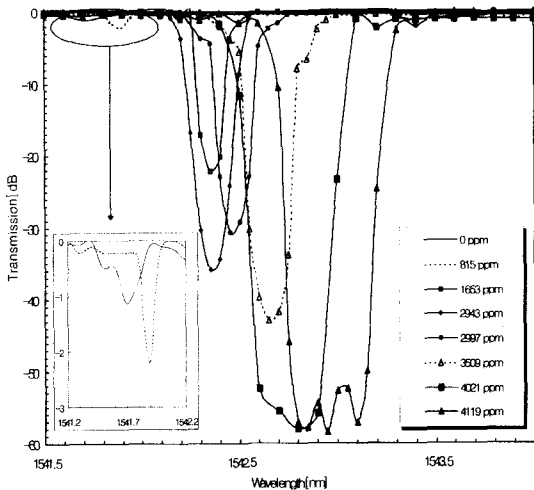


그림 5. 제작된 광섬유 격자들의 파장에 따른 수소 농도별 투과 스펙트럼

Fig. 5. FBG transmission spectra according to various hydrogen concentration.

로 수소 분자가 포화되며, 이 광섬유에 제작된 광섬유 격자의 투과율은 -30.55dB이었고, FWFZ 대역폭($2\Delta\lambda$)은 0.6nm이었다. 측정된 중심파장에서의 반사율 및 FWFZ 대역폭($2\Delta\lambda$)과 함께 식(6)~(8)을 이용하여 광섬유 격자 제작 시 발생한 굴절률변화(Δn)를 추정할 수 있었으며, 이 때 발생한 굴절률변화(Δn)는 6.5×10^{-4} 이었다. 수소 처리 조건이 서로 달라서 광섬유 코어 내부의 포화수소분자 농도가 다른 광섬유 샘플들에 같은

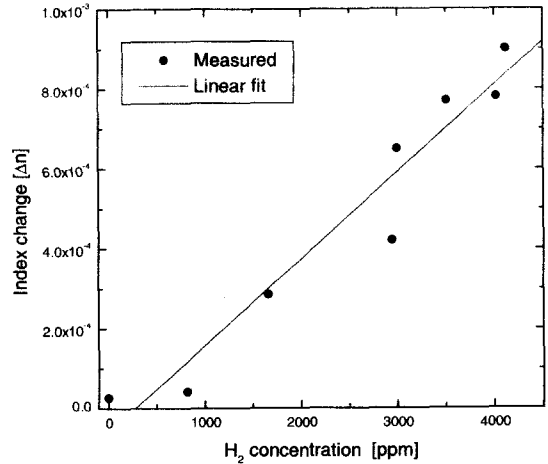


그림 6. 포화 수소 농도에 따른 광섬유 격자의 굴절률 변화

Fig. 6. Index change of FBG as function of hydrogen concentration.

제작 조건으로 광섬유 격자가 제작되었으며, 이들 격자들의 투과 스펙트럼은 그림 5에 나타나 있다. 그림 5에서 알 수 있듯이, 광섬유 코어내부의 포화수소분자 농도가 커질수록 광섬유 격자의 중심파장(λ_B)은 장파장 쪽으로 이동하며, 투과율은 감소하며, 반사 대역폭은 증가함을 알 수 있다. 이것은 광섬유 코어 내에 수소분자의 양이 많을수록 굴절률 변화가 크게 일어나는 것을 의미한다. 그림 6은 포화수소분자농도에 따라서 격자 생성 시 생기는 굴절률 변화를 나타내는 그림으로 점선은 실험치를 나타내며, 실선(—)은 fitting 결과를 나타낸다. 따라서 광섬유 코어 내에 포화된 수소분자 농도가 100ppm 증가할 때 마다 대략적으로 굴절률 변화폭이 2×10^{-5} 정도가 증가하는 것을 알 수 있다. 그런데, 결합들의 수 $[GeE']$ 과 $[GeH]$ 이 증가하면 각각 $k_{GeE'}$ 와 k_{GeH} 에 비례해서 식(1)과 같이 굴절률 변화폭이 증가하게 되며, 만일 $k_{GeE'} \approx k_{GeH} \approx k_{ave}$ 로 가정^[9]하는 경우 GeE' 센터와 GeH 결합에 따른 굴절률 변화폭은 대략적으로 아래식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta n \approx k_{ave}([GeE'] + [GeH]) \quad (9)$$

여기에서 k_{ave} 는 $5.25 \times 10^{-23} [cm^3]$ 이다. 따라서, 측정된 Δn 값으로부터 $[GeE'] + [GeH]$ 의 값은 식(9)에 의해서 추정되어 질 수 있다. 샘플1과 같이, 수소처리 하지 않은 광섬유에서는 GeH 결합의 수를 무시할 수 있기 때문에 UV빔 조사시 생성되는 GeE' 센터의 수는 대략 4.4

$\times 10^{17}/\text{cm}^3$ 이다. 그러나, 샘플6과 같이 굴절률변화(Δn)가 9.0×10^{-4} 인 경우 수소 처리 및 UV빔의 열적 효과와 광학적 효과^[10]로 인하여 생성되는 GeE'센터와 GeH결합의 합은 약 $1.7 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 로 추정할 수 있다. 그러므로 수소분자 100ppm당 2×10^{-5} 의 굴절률 변화를 일으킬 때 약 $3.8 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 의 광감도 현상에 작용하는 결합들(즉, [GeE']+[GeH])이 발생됨을 알 수 있다.

표 2는 샘플의 수소처리정도에 따라서 생성된 결합농도의 추정치와 UV빔 조사시 생긴 굴절률 변화를 나타내는 것으로, 광섬유 코어내의 포화수소분자 농도가 100ppm증가함에 따라서 결합농도와 굴절률 변화가 각각 $\sim 3.8 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 와 $\sim 2 \times 10^{-5}$ 만큼 증가함을 보여 준다.

표 2. 측정된 굴절률 변화와 광섬유내의 포화 수소 분자 농도 및 반응으로 인한 결합수

Table 2. The measured index change and total number of generated GeE'centers and GeH from reaction..

샘플	굴절률변화 (Δn)	광섬유 코어 내의 포화수소분자농도 [ppm]	수소분자 및 UV에 의하여 생성된 결합농도(GeE'+GeH) [cm^{-3}]
1	2.64×10^{-5}	0	4.4×10^{17} (GeE' only)
5	4.12×10^{-5}	815	7.8×10^{17}
4	2.85×10^{-4}	1653	5.4×10^{18}
8	4.20×10^{-4}	2943	8.0×10^{18}
2	6.50×10^{-4}	2997	1.2×10^{19}
7	7.70×10^{-4}	3509	1.4×10^{19}
3	7.80×10^{-4}	4021	1.4×10^{19}
6	9.00×10^{-4}	4119	1.7×10^{19}

IV. 결론

본 논문에서는 서로 다른 조건으로 Ge이 도핑된 광섬유를 수소 처리될때 예상되는 광섬유 코어내의 수소분자 농도를 확산방정식을 이용하여 계산하였다. Ge이 첨가된 광섬유에 서로 다른 조건으로 수소처리를 하였고 UV빔에 의해 발생한 굴절률 변화를 측정된 결과, 수소분자가 100ppm 증가할 때 마다 $\sim 2 \times 10^{-5}$ 정도가 증가함을 알 수 있었으며, $\sim 3.8 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 의 결합들이 생성되는 것을 간단한 이론을 통하여 대략적으로 추정할 수 있었다. 이러한 결과로부터 광섬유를 수소처리

할 때, 광섬유 격자의 굴절률 변화폭을 수소 처리 조건으로써 쉽게 예상할 수 있다.

※ 감사의 글 : 수소처리장치 제작에 도움을 주신 Univ. of Rochester의 T. Erdogan 교수께 감사 드립니다.

참고 문헌

- [1] Raman Kashyap, *Fiber Bragg Gratings*, Academic Press, San Diego and London, 1999.
- [2] Andreas Othonos, "Fiber Bragg gratings," *AIP Review of Scientific Instruments*, Vol.68, No.12, pp.4309-4341, Dec. 1997.
- [3] D. L. Williams, B. J. Ainslie, J. R. Armitage, R. Kashyap and R. Campbell, "ENHANCED UV PHOTSENSITIVITY IN BORON CODOPED GERMANOSILICATE FIBRES," *Electronics Letters*, Vol.29, No.1, pp.45-47, 1993.
- [4] L. Dong, J. L. Cruz, J. A. Tucknott, L. Reekie, and D. N. Payne, "Strong photosensitive gratings in tin-doped phosphosilicate optical fibers," *Optics Letters*, Vol.20, No.19, pp.1982-1984, 1995.
- [5] E. M. Dianov, K. M. Golanr, V. M. Mashinsky, O. I. Medvedkov, I. V. Nikolin, O. D. Sazhin and S. A. Vasiliev, "Highly photosensitive nitrogen-doped germanosilicate fibre for index grating writing," *Electronics Letters*, Vol.33, No.15, pp.1334-1336, 1997.
- [6] F. Bilodeau, B. Malo, J. Albert, D. C. Johnson, and K. O. Hill, "Photosensitization of optical fiber and silica-on-silicon/silica waveguides," *Optics Letters*, Vol.18, No.12, pp.953-955, 1993.
- [7] P. J. Lemaire, R. M. Atkins, V. Mizrahi and W. A. Reed, "HIGH PRESSURE H₂ LOADING AS A TECHNIQUE FOR ACHIEVING ULTRAHIGH UV PHOTSENSITIVITY AND THERMAL SENSITIVITY IN GeO₂ DOPED OPTICAL FIBRES," *Electronics Letters*, Vol.29, No.13, pp.1191-1193, 1993.
- [8] A. D. Heaney and T. Erdogan, "The

- significance of oxygen-deficient defects to the photosensitivity of hydrogen-loaded germano-silicate glass," *Journal of Applied Physics*, Vol.85, No.11, pp.7573-7578, 1999.
- [9] Tsung-Ein Tsai, Glen M. Williams, and E. Joseph Friebele, " Index structure of fiber Bragg gratings in Ge-SiO₂ fibers," *Optics Letters*, Vol.22, No.4, pp.224-226, 1997.
- [10] T. A. Nguty and R. J. Potton, "Photochemical change in hydrogen-loaded optical fibers with application to Bragg grating formation," *Measurements Science and Technology*, Vol.8, pp.1055-1058, 1997.
- [11] Paul J. Lemaire, "Reliability of optical fibers exposed to hydrogen: prediction of long-term loss increases," *Optical Engineering*, Vol.30, No.6, pp.780-789, 1991.
- [12] Lon A. WANG, Chih Wei HSU and Hsuen Li CHEN, "Characteristics of Deuterium-Loaded Fiber Bragg Gratings," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol.37, Part 1, No.11, pp.6001-6006, 1998.
- [13] Atkins, et al, "METHOD OF MAKING AN ARTICLE COMPRISING AN OPTICAL WAVEGUIDE," *Unite States Patent*, Patent No.5,235,659, 1993.
- [14] Koichi Awazu, "Comments on 'Thermal and photo-initiated reactions of H₂ with germanosilicate optical fibers'," *Journal of Non-Crystalline Solids* 201, pp.267-271, 1996.

 저 자 소 개

宋 政 桓(正會員)

1970년 9월 1일생. 1997. 8 고려대학교 물리학과 졸업 (이학사). 2000. 2 성균관대학교 대학원 전기전자 및 컴퓨터 공학과 졸업(공학석사). 2000. 1~현재 삼성전자 (주) 정보통신총괄 광소재사업팀 기술개발그룹 연구원
관심분야 : 광섬유 디바이스, 광섬유 격자, 광통신 디바이스

李 景 植(正會員) 第34卷 第4號 參照