

UV beam parameter가 광섬유 격자 형성에 미치는 영향

임종훈, 조상연, 김상엽, 박광노, 이종훈, 박봉옥, 송정태, 이경식, 전찬오*
 성균관대학교 전자공학과, *대한전선(주)

Effects of the UV beam parameters on the fiber Bragg gratings fabricated

J.H.Lim, S.Y.Cho, S.Y.Kim, K.N.Park, J.H.Lee, P.O.Park, J.T.Song, K.S.Lee, C.O.Jeon*
 Sung Kyun Kwan Univ. School of Electrical and Computer Engineering ,
 *TAIHAN Electric Wire Co., LTD.

Abstract - We fabricated a number of optical fiber Bragg gratings by varying the UV beam parameters such as the laser energy density, pulse repetition rate and exposing time. The reflectance and the Bragg wavelength shift of the fiber Bragg gratings formed with a KrF excimer laser in real time depend strongly on the UV beam parameters. The index changes in the gratings during the exposing time are well fitted to the well known equations.

1. 서론

광섬유 격자는 광섬유 코어내의 굴절률이 주기적으로 변하는 형태의 소자로 이에 빛을 입사시키면 도파하는 빛중 특정 파장의 빛만을 반사시키는 특성을 가지고 있다. 이를 이용하여 시스템을 구성하게 되면 all-fiber 시스템으로 구성할 수 있어 삽입손실을 줄일수 있고, 또한 그 특성치를 원하는 값으로 제작하기가 쉬워 여러 분야에 응용하기가 용이하다는 장점이 있다[1]. 현재 광섬유 격자는 분산보상, 광섬유증폭기 이득 평탄화, WDM소자 및 광섬유 센서 시스템 등에 사용되고 있으며 그 응용범위가 넓어 세계적으로 한창 연구개발중에 있다.

광섬유 격자 제작기술은 1978년 K.O.Hill에 의하여 Ge이 도핑된 광섬유에 가시광선 laser beam을 입사시킬 때 광섬유의 굴절률에 변화가 일어난다는 것이 처음 보고된 이후에 1989년 Meltz가 광섬유에 248nm 파장의 beam을 서로 교차시켜 광섬유 코어안에 광섬유 격자를 직접 형성시킴으로써 본격적으로 시작되었다. 그 후 여러 가지 광섬유 격자 제작방법으로 prism interferometer 방법, holographic writing 방법, phase mask 방법[2] 등이 발표되었으며, 또한 여러 가지 광섬유 격자에 대한 연구도 현재 세계각국에서 활발하게 진행되어오고 있다.

본 논문에서는, phase mask를 사용한 방법을 이용하여 광섬유 격자를 제작하고 이 과정에서 energy density

와 펄스 반복률이 어떤 영향을 미치는지 살펴보고 굴절률 변화 값에 대한 curve fitting도 실시하고자 한다.

2. 광섬유 격자 이론 및 제작 시스템 구성

그림1은 광섬유 격자 제작 시스템의 전체 구성도로써, excimer laser(Lambda Physik사 COMPex205)에서 나온 UV beam을 cylindrical lens를 사용하여 energy density를 높이고, 이 beam을 phase mask(QPS사)에 입사시켜 Ge-doped 광섬유(QPS사)에 간섭무늬가 형성되도록 하고, 이 block(phase mask와 광섬유 setting block)의 위치를 조정함으로써 energy density가 가변되도록 하였다. 또한 LED 및 OSA(Optical Spectrum Analyzer, ANDO사)를 이용하여 격자 형성과정이 실시간으로 1분마다 관측되도록 하였다.

광섬유 코어에 격자가 형성되는 과정의 이론적 분석을 위해 coupled-mode theory를 적용하면, 광섬유 격자의 최대반사율 R 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = \tanh^2[\eta n L \Delta n / \lambda] \quad (1)$$

여기서, η 는 laser beam이 광섬유 코어에 결합되는 비율이며 $\eta=0.85$ 의 값으로 추정하여 사용하고, L 은 광섬유 격자의 길이로서 $L=25\text{mm}$ 이다. λ 는 Bragg 조건을 만족시키는 파장으로서 $\lambda=2n_{\text{eff}}\Lambda_g$ 이고 이때의 Λ_g 는 격자주기이며, n_{eff} 는 격자의 유효굴절률이다. Δn 은 격자의 굴절률 변화량으로 UV beam에 의해 광섬유의 굴절률이 변화되는 원인에 대해서는 아직 명확히 설명할 수 있는 이론은 나와있지 않다. 제시되어지고 있는 모델 중 color center model에 의하면 Ge-doped 광섬유는 244nm대에서 강한 흡수밴드를 형성하는데 이 흡수밴드는 UV beam이 조사되면 사라지게 되고 새로운 흡수밴드가 195nm에서 형성된다. 이때 흡수와 굴절률은 Kramers-Kronig 관계에 의해서 설명되어지는데, 이를

이용하여 유도된 beam의 노출시간에 따른 굴절률 변화 양식은 다음과 같다.

$$\Delta n = \Delta n_{\max} [1 - \exp(-At)] \quad (2)$$

여기서, Δn_{\max} 는 최대 굴절률 변화량이고, t 는 노출시간, I 는 UV beam의 세기, $A = \sigma/h\nu$ 로 흡수 단면적을 244nm의 광자 에너지로 나누어준 값이다.

한편, power-law fit에 의해 Δn 을 적용시켰을 때 실험한 data와 잘 일치함을 보여준 예[3]도 있는데 이때의 식은 다음과 같다.

$$\Delta n = Ct^b \quad (3)$$

여기서, C 와 b 는 상수값으로 실험값과 가장 일치하는 값을 curve fitting에 의해 결정하였다.

격자 제작시 중심파장은 굴절률 변화량이 증가함에 따라 유효굴절률도 증가하게 되므로 점점 장파장쪽으로 이동하게 되는데 Δn 과 중심파장 변화량 $\Delta \lambda$ 에 관한 관계식은 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta \lambda = \frac{\Delta n}{n} \lambda \quad (4)$$

따라서 본 논문에서는 광섬유 격자를 제작하고 이의 노출시간에 따른 반사율 변화를 측정하여 (1)식에 의해 Δn 값을 추출하였으며 (2)식과 (3)식을 각각 적용시켰을 때의 결과를 fitting시켜 비교하였다.

3. 광섬유 격자 제작 및 특성분석

Laser beam energy density와 펄스 반복률이 노출시간에 대해 광섬유 격자 형성에 어떻게 영향을 미치는지를 실시간으로 관측하고자 하였다. 이를 위해 laser energy density를 525mJ/cm²와 252mJ/cm²의 두가지 경우와 펄스 반복률 15Hz와 5Hz의 두가지 경우, 즉 총 4가지 경우에 대해 각각 두 번씩 같은 조건으로 광섬유 격자를 제작하고, 이의 특성을 실시간으로 관측하였다. 그림2의 (a)와 (b)는 펄스 반복률이 15Hz일때와 5Hz일때의 laser energy density에 대한 반사율을 각각 나타낸 것으로 펄스 반복률이 높을 때는 노출시간에 대해 반사율이 빨리 포화됨을 알 수 있다. 또한 같은 energy density에 대해서는 15Hz일 때에 비해 5Hz일 때가 최대 반사율을 얻을 때까지의 노출시간은 길게되지만 반사율의 정도는 오히려 증가함을 알 수 있다. 15Hz일 때는 energy density의 영향을 크게 받으며 energy density가 높을수록 반사율은 높게 나타나지만 5Hz인 경우에는 energy density의 영향이 상대적으로 작게 나타나고 오

히려 energy density가 낮을수록 반사율이 크게 나타남을 알 수 있다. 그림3의 (a)와 (b)는 펄스 반복률이 15Hz와 5Hz인 경우에 대해서 노출시간에 따른 중심파장 이동을 각각 나타낸 그림이다. 펄스 반복률이 15Hz인 그림3의 (a)에서는 energy density가 높을수록 중심파장 이동이 크게 나타나고, 펄스 반복률이 5Hz인 그림3의 (b)에서는 그 반대의 현상이 나타남을 알 수 있다. 그림4의 (a)와 (b)는 노출시간에 대한 Δn 의 값을 (2)식과 (3)식을 각각 적용했을 때의 그림으로 본 논문에서는 (2)식을 적용한 경우가 실험 결과와 더 잘 일치함을 알 수 있다. 표1은 진술한 4가지 경우에 대해 각각 두 번씩 같은 조건으로 광섬유 격자를 제작했을때의 특성표로서, 그림2와 3을 종합적으로 나타내었다. 즉 각각의 경우에 대해 saturation time, 최대반사율, 노출시간 8분때의 반사율을 나타낸 것으로, 같은 energy density에는 펄스 반복률이 낮을수록 saturation time은 길어지고, 최대반사율은 525mJ/cm²인 경우에는 펄스 반복률에 큰 영향이 없으나 252mJ/cm²인 경우에는 15Hz인 경우에 비해 5Hz일때가 훨씬 크게 나타남을 보여주고 있다. 또한 laser energy density와 펄스 반복률이 높을수록 노출시간 초기에는 격자형성이 빨리 진행됨을 알 수 있다.

4. 결론

UV beam을 phase mask에 입사시킨 후 이때 형성된 간섭무늬에 광섬유를 노출시켜 광섬유 격자를 형성시켰고 이의 물리적 특성을 실시간으로 관측하여, 격자형성에 미치는 UV beam parameter의 영향을 분석하였다. 이 결과, 같은 energy density에서는 펄스 반복률이 작아질수록 반사율의 saturation time은 길어짐을 알 수 있었고, 노출시간 초기 8분 이내에는 energy density와 펄스 반복률이 높을수록 격자형성이 빨리 진행됨을 알 수 있었다. 최대 반사율은 펄스 반복률과 energy density가 일정한 상관관계가 있기보다는 최적의 조건이 존재하는 것으로 추측되는데 이것에 대해서는 향후 지속적 연구가 진행될 예정이다. 노출시간에 대한 Δn 의 변화는 color center model의 Kramers-Kronig 관계를 적용하여 유도된 (2)식의 경우가 실험결과와 더욱 일치함을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] T. Erdogan, JLT., vol.15, pp.1277, 1997.
- [2] D. Z. Anderson, V. Mizrahi, T. Erdogan, and A. E. White, OFC93, Technical Digest, pp.68, 1993
- [3] H. Patrick and S. L. Gilbert, Opt. Lett., vol.18, pp.1484, 1993.

표 1. 광섬유 격자 제작 조건에 의한 특성표

격자 제작 조건	525mJ/cm ² , 15Hz		525mJ/cm ² , 5Hz		252mJ/cm ² , 15Hz		252mJ/cm ² , 5Hz	
	1회	2회	1회	2회	1회	2회	1회	2회
Saturation time (min.)	15	14	42	43	9	8	60	60
최대반사율 (dB)	8.2	5.5	9.6	8.8	2.07	2.35	10.02	12.54
노출시간 8분에서의 반사율 (dB)	6.52	4.09	3.61	4.21	1.92	2.35	2.89	2.60

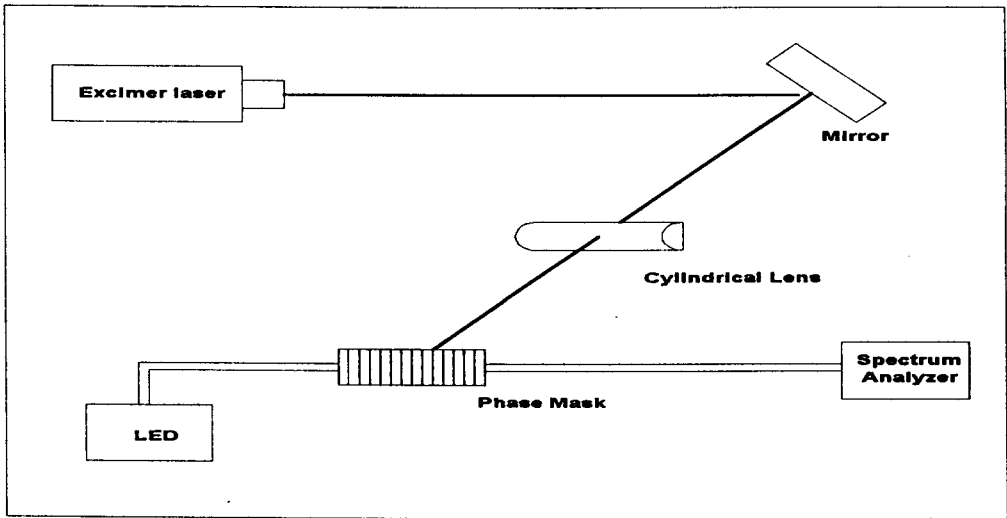
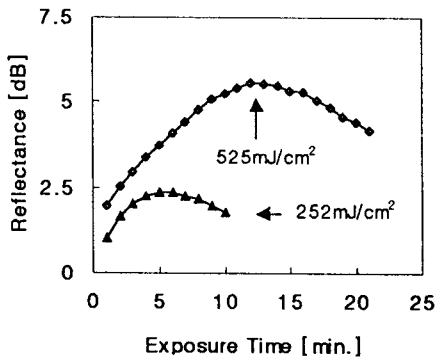
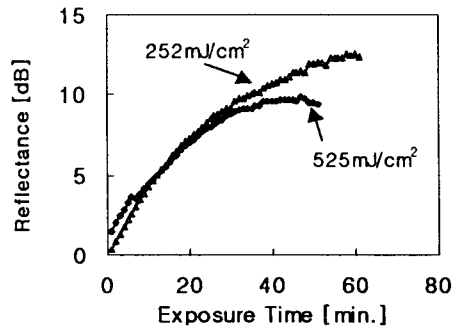


그림 1. 광섬유 격자 제작 구성도

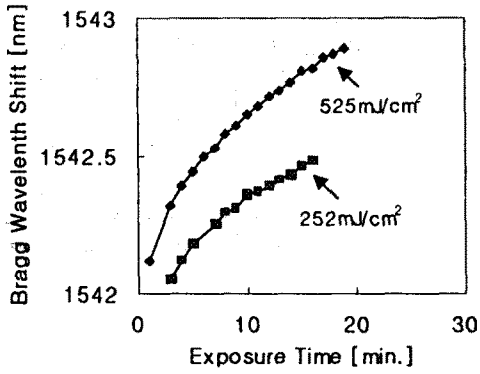


(a)

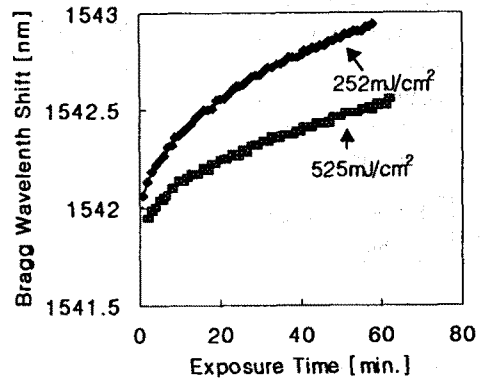


(b)

그림 2. Laser energy density의 노출시간에 따른 반사율의 변화 ((a) = 15Hz, (b) = 5 Hz)

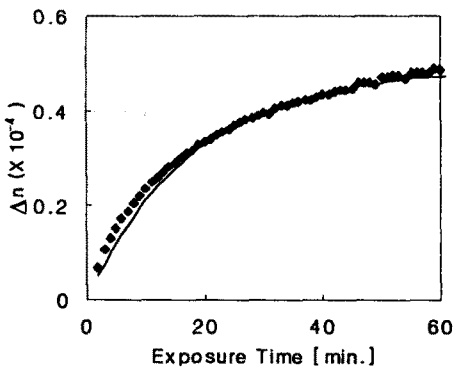


(a)

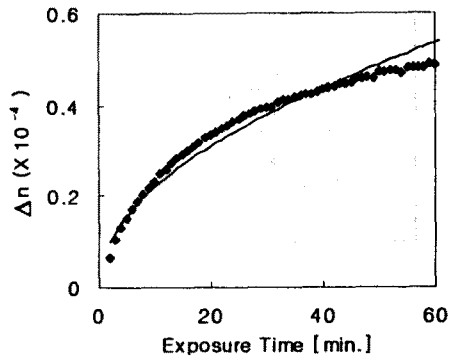


(b)

그림 3. Laser energy density의 노출시간에 따른 중심파장이동 ((a) = 15 Hz, (b) = 5 Hz)



(a)



(b)

그림 4. 노출시간에 따른 굴절률의 변화

(a) 점 = 실험치, 선 = 식(2)의 fitting 결과, 여기서 $\Delta n_{\max} = 0.4910 \times 10^{-4}$, $AI = 0.0557$

(b) 점 = 실험치, 선 = 식(3)의 fitting 결과, 여기서 $C = 0.0608 \times 10^{-4}$, $b = 0.5575$