

제2고조파 Argon Laser를 이용한 여러 가지 광섬유 격자의 제작

김승우*, 권재중, 김성철, 이병호
서울대학교 전기공학부

전화: 02-880-7259
팩스: 02-873-9953

Fabrication of Various Fiber Bragg Gratings Using the UV-Argon Laser

Seungwoo Kim*, Jaejoong Kwon, Sungchul Kim, and Byoungcho Lee
School of Electrical Engineering, Seoul National University

Abstract

Fiber Bragg gratings have many applications such as fiber sensors, band-stop filters, add-drop filters, and mode convertors. In this paper, we present the fabrication method of various fiber Bragg gratings by using continuous wave UV-Argon(frequency-doubled Argon) laser. In our experiments, hydrogenation of fibers was used to enhance photosensitivity of fiber. And we fabricated fiber gratings by the phase mask method.

1. 서론

광섬유 브래그 격자(fiber Bragg grating)는 광섬유 코어(core)의 굴절률을 주기적으로 변조하여 특정 파장의 빛을 반사시키는 광섬유 소자이다. 광섬유 브래그 격자의 구조 및 동작 특성이 그림 1에 나타나 있다. 빛이 진행하는 광섬유 코어의 주기적인 굴절률 변화는 브래그 격자(Bragg grating)의 역할을 하게 되며 그림 1처럼 넓은 스펙트럼을 갖는 광원을 광섬유에 입사시키면 식 (1)의 브래그 조건을 만족시키는 파장 성분이 광섬유 격자 부위에서 반사되며 나머지

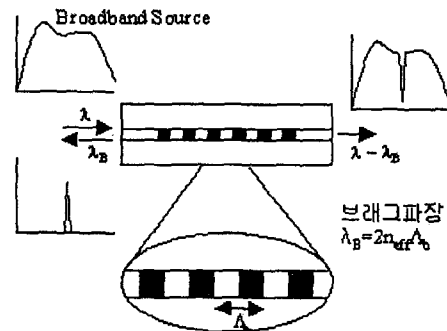


그림 1. 광섬유 브래그 격자의 구조 및 동작 특성

파장 성분은 그대로 통과한다[1].

$$\lambda_B = 2 n_{eff} \Lambda_b \quad (1)$$

n_{eff} 는 광섬유 브래그 격자의 유효 굴절률(effective refractive index)이고, Λ_b 는 광섬유 코어에 새겨진 격자의 주기이다.

광섬유 격자 성장의 원인이 되는 광민감성(photosensitivity)은 광섬유에 첨가된 게르마늄이 240nm 파장의 자외선 빛에 대해 광섬유의 굴절률을 증가시키기 때문이다. 이러한 광민감성 현상은 1978년 Hill 에 의해서 처음으로 발견되었다[2]. 게르마늄이 첨가되지 않은 광섬유는 실리카(SiO₂)로 이루어지는데 160nm 부근에서 주로 흡수가 일어난다. 하지만

광섬유 코어에 게르마늄이 첨가되면, 게르마늄이 실리콘 원자와 치환이 일어나 GeO_2 가 형성되고 그 과정에서 GeO (oxygen deficient germania related defect) 결함이 발생한다. 바로 이 GeO 결함이 240nm 파장대의 빛을 흡수하여 굴절률 증가를 가져오는 것이다. 실제 실험에서는 일반 단일 모드 광섬유(single mode fiber)에 48시간 이상의 수소처리(hydrogenation)를 통해서 광민감성을 향상시켰다.

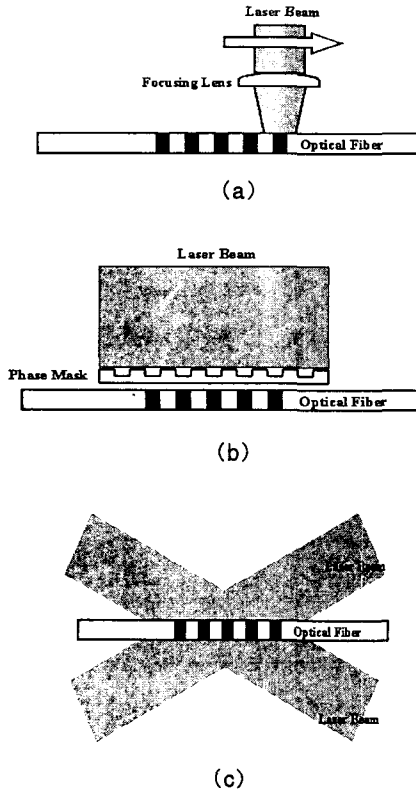


그림 2. (a) Step and repeat method (b) Phase mask method (c) Holographic method

광섬유 브래그 격자를 제작하는 방법은 지금까지 여러 가지가 제안되어 왔지만, 그 중에서도 그림 2의 방법들이 현재까지도 계속 사용되고 있는 방법이라고 할 수 있다[3-4]. 먼저 그림 2(a)의 Step and Repeat 방법은 가장 궁극적인 방법이지만, 빔 크기가 작고 출력이 큰 cw-laser와 정밀도가 높은 translation stage가 필요하다는 것이 단점이다. 하지만 광섬유 코어의 index profile을 임의로 정해서 제작할 수 있다는 것이 가장 큰 장점이다. 이에 비해 그림 2(b)의 위상 마스크 방법(phase mask method)은 비교적 저가로 실험 setup을 꾸밀 수 있고, 대량 생산이 가능한 방법이지만, 제작할 수 있는 광섬유

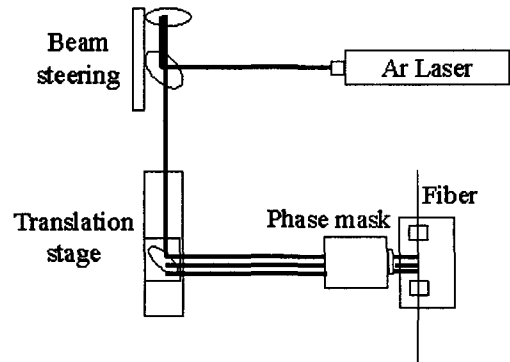


그림 3. UV-Argon laser를 이용한 광섬유 격자의 제작 시스템

격자가 제한되며, 마지막으로 그림 2(c)의 홀로그래피 방법(holographic method)은 위상 마스크 방법 보다 저가로 여러 가지 파장대의 광섬유 격자를 제작할 수 있지만, 실험 setup이 위의 방법들 중 가장 힘들다는 단점을 가지고 있다. 본 실험에서는 위상 마스크 방법으로 여러 가지 광섬유 격자들을 제작할 수 있었다.

일반적으로 많이 사용하는 248nm의 파장대역을 갖는 KrF Excimer laser로 위상마스크 방법을 이용하여 광섬유 격자들을 제작하는 방법은 단 시간내에 양질의 광섬유 격자를 대량생산할 수 있지만, 그 광섬유 격자의 종류가 UV-Argon(frequency-doubled Argon) laser와 같은 cw-laser로 제작하였을 때보다 비교적 제한적이라는 단점이 있다. 예를 들어 chirped fiber Bragg grating의 제작이나 일반 광섬유 격자의 apodization은 excimer laser같은 pulse laser로 실현하기 힘든 점이 있다. 물론 그러한 기능을 하는 위상 마스크를 구입하면 되겠지만, 가격도 매우 고가이고, 일단 구입했다하더라도 그 용도가 매우 제한적이라는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 cw-laser를 이용하여 일반 광섬유 브래그 격자는 물론이고 chirped fiber Bragg grating, sampled grating 등을 제작하는 방법과 실제 그 스펙트럼을 제시하고 앞으로 제작이 가능한 다른 종류의 광섬유 격자에 대해서도 언급하겠다. 그림 3이 실험 setup의 대략도이다.

2. 여러 가지 광섬유 브래그 격자의 제작

2-1. 단주기 광섬유 격자(short period fiber grating)
일반적으로 광섬유 브래그 격자라고 하면 단주기 광섬유 격자를 말한다. 이 광섬유 격자는 파장 선택형 반사 필터(wavelength selective reflection filter)

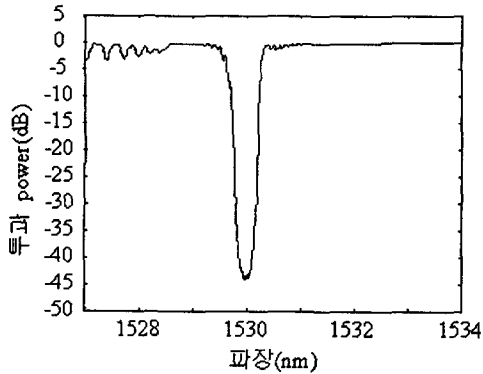


그림 4. 단주기 격자의 투과 스펙트럼

로서, 좁은 선폭과 높은 반사율로 파장 가감기 (add-drop filter)와 같은 WDM(wavelength division multiplexing) 소자에 많이 이용되고 있다. 또, 반사 파장의 온도, 스트레인 의존성에 의하여 온도, 스트레인 센서로도 많이 쓰이고 있다[5-8]. 그림 4와 같이 실제로 제작된 단주기 광섬유 격자의 투과 스펙트럼을 보면 3dB 스펙트럼 폭이 0.65nm로 좁고, 반사율 또한 43dB로 매우 큰 것을 알 수 있다. 그리고 반사파장에서 단파장쪽으로 약간의 크고 작은 peak 가 보이는데 이것은 클래딩 모드(cladding mode)로 의 coupling에 의한 손실로 수소처리한 광섬유의 기울어짐 효과(tilting effect)에 의한 것이다. 이 제작과정에서는 25mm 위상 마스크를 사용하여 약 2시간동안 UV-Argon laser(244nm)를 스캐닝(scanning)하였다. Translation stage의 스캐닝 속도에 따라서 반사율이 많이 달라지기 때문에 여러 번의 실험을 거쳐 최적의 스캐닝 속도를 찾아내었다.

2. Chirped fiber Bragg grating

Chirped fiber Bragg grating이란 광섬유의 격자부분에서 반사되는 파장이 위치에 따라 비례해서 달라

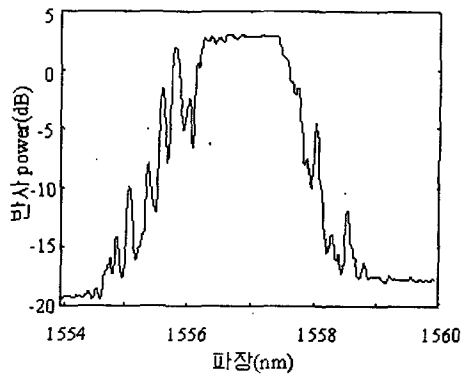


그림 5. Chirped fiber Bragg grating의 반사 스펙트럼

지는 광섬유 브래그 격자를 말한다. 이 광섬유 격자는 분산 보상기(dispersion compensator)나 intensity based sensor, WDM 소자 등 매우 널리 응용되고 있다. 응용되는 분야에 따라 다르지만 일반적으로 20dB이상의 반사율과 넓은 스펙트럼의 폭을 갖는 chirped 격자를 제작하기는 어렵다. 위에서도 언급하였듯이 chirped fiber Bragg grating을 바로 제작할 수 있는 위상 마스크를 구입하여 단주기 광섬유 격자와 비슷한 방법으로 제작할 수도 있지만 위상 마스크의 가격이 일반 단주기용 위상 마스크보다 약 4 배정도 비싸기 때문에 다른 방법을 고안할 필요가 있다. 이 실험에서는 일반 단주기용 위상 마스크를 사용하고 광섬유를 잡고 있는 양쪽의 마이크로 stage를 조정하여 총 20여 단계에 걸친 스트레인을 인가하게 된다. 그러면 그림 5과 같이 3dB 스펙트럼 폭이 1.5nm 정도 되는 반사 스펙트럼의 chirped fiber Bragg grating을 제작할 수 있다. 엄밀히 말하자면 선형 chirped grating이 아닌 step chirped grating이지만, 스트레인을 인가하는 단계수를 더 늘린다면 선형 chirped grating에 근사한다.

3. Sampled grating

Sampled grating이란 일반 단주기 광섬유 격자가 약 수백 마이크로 간격으로 새겨진 부분과 안 새겨진 부분으로 이루어진 광섬유 격자를 말한다. 이 소자의 특징은 단주기 광섬유 브래그 격자의 스펙트럼이 약 0.5-3nm 간격으로 3개 이상 반복하여 나타난다. 이러한 특징 때문에 다채널(multichannel) filter로 많이 사용되고 있다. Excimer laser같은 펄스 laser로는 위상 마스크와 수백 마이크로 주기를 갖는 amplitude 마스크를 동시에 사용하여 제작할 수 있지만 본 실험의 제작과정에서는 amplitude 마스크를 사용하지 않아도 가능하다. Translation stage의 프로그램

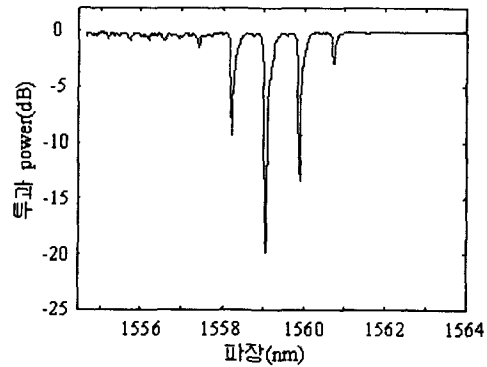


그림 6. Sampled grating의 투과 스펙트럼

램 상에서 광섬유에 빛이 조사되는 정도를 조절할 수 있기 때문이다. 그림 6이 제작된 sampled grating의 실제 투과 스펙트럼을 보여준다. 이 그림에서 반사 피크(peak)가 가운데를 중심으로 좌우 대칭인 것을 볼 수 있는데, 이것은 장주기 격자(long-period grating)에 의한 스펙트럼의 영향이 단주기 광섬유 격자의 스펙트럼에 convolution되어 나타나기 때문이다. 이 광섬유 격자는 약 1시간 50분 정도 laser를 조사하여 제작되었고 제작시간을 더 늘린다면 채널의 수를 늘릴 수 있고 반사율 또한 증가시킬 수 있을 것이다.

3. 결론

지금까지 UV-Argon laser를 이용하여 여러 가지 광섬유 격자를 제작하는 방법과 실제 스펙트럼들을 제시하였다. 앞으로의 과제는 가장 먼저 focusing lens를 사용하여 빔 크기를 최대한 줄이는 것이다. 그러면 광섬유 격자의 제작 시간을 지금보다 획기적으로 줄일 수 있을 것이고 더 나아가 그림 1-2(a)에 제시된 step and repeat 방법을 구현할 수 있는 초석이 될 것이다. 이 방법을 구현하게 된다면 임의의 굴절률 profile을 가진 광섬유 격자를 제작할 수 있게 될 것이다.

*본 연구는 KAIST를 통해 지원되는 과학기술부의 중소기업 기술무상 양허사업의 일부 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

[1] K. O. Hill and G. Meltz, "Fiber Bragg grating

technology fundamentals and overviews," *J. Lightwave Technol.* **15**, 1263(1997).

[2] K. O. Hill, Y. Fujii, D. C. Johnson, and B. S. Kawasaki, "Photosensitivity in optical fiber waveguides," *Appl. Phys. Lett.* **32**, 647(1978).

[3] G. Meltz, W. W. Morey, and W. H. Glenn, "Formation of Bragg gratings in optical fibers by a transverse holographic method," *Opt. Lett.* **14**, 823(1989).

[4] K. O. Hill, B. Malo, F. Bilodeau, D. C. Johnson, and J. Albert, "Bragg gratings fabricated in monomode photosensitivity optical fiber by UV exposure through a phase mask," *Appl. Phys. Lett.* **62**, 1035(1993).

[5] A. D. Kersey, M. A. Davis, H. J. Patrick, M. LeBlanc, K. P. Koo, C. G. Askins, M. A. Putnam, and E. J. Friebele, "Fiber grating sensors," *J. Lightwave Technol.* **15**, 1442(1997).

[6] M. Song, S. B. Lee, S. S. Choi, and B. Lee, "Simultaneous measurement of temperature and strain using two fiber Bragg gratings embedded in a glass tube," *Optical Fiber Technol.* **3**, 194(1997).

[7] G. Lin, L. Wang, C. C. Yang, M. C. Shih, and T. J. Chuang, "Thermal performance of metal-clad fiber Bragg grating sensors," *IEEE Photon. Technol. Lett.* **10**, 406(1998).

[8] H. J. Patrick, G. M. Williams, A. D. Kersey, J. R. Pedrazzani, and A. M. Vengsarkar, "Hybrid fiber Bragg grating/long period fiber grating sensor for strain/temperature discrimination," *IEEE Photon. Technol. Lett.* **8**, 1223(1996).