극초단 고출력 레이저를 이용한 광섬유 브래그 격자 소자의 직접 식각 방식에 의한 제작

Fabrication of Fiber Bragg Grating by High Power Ultrafast Pulse Laser with Direct Inscription Method

*박상욱 [1], 김영진 [1], 김윤석 [1], 김승만 [1], 한승희 [1], #김승우 [1]

*Sanguk Park[1], Young-Jin Kim[1], Yunseok Kim[1], Seungman Kim[1], Seunghwoi Han[1] and #Seung-Woo Kim(swk@kaist.ac.kr)[1]

[1] 한국과학기술원(KAIST) 극초단광학초정밀기술연구단

Key words : fiber Bragg grating, femtosecond pulse, direct inscription

1. 서론

최근, 레이저를 이용한 가공 기술은 눈부신 발전 속도를 이루어 기존의 기계적인 가공기술을 대체하기 시작하고 있다. 그 가운데에서도 펨토초 펄스 레이저를 이용한 투명재료의 가공기술은 많은 주목을 모으고 있고, 글래스, 광학파이버, 크리스탈, 세라믹 등의 가공에 응용되고 있다.

한편, 광섬유 브래그 격자 소자(Fiber Bragg Grating)는 광섬유 기반 시스템의 중요한 소자로서 광학필터, 광학센서, 색분산 보상기 등에 많이 활용되고 있다. 지금까지 기존의 광섬유 격자는 UV 광원에서 나온 빛을 위상 마스크(Phase Mask) 혹은 간섭을 이용하여 주기적인 패턴으로 만들어 광섬유에 주기적인 굴절률 변화를 유도하는 방법으로 제작되었다. 하지만 이 방법은 광섬유 코어에 게르마늄, 붕소등을 첨가한 고가의 광민감성 광섬유을 사용해야만 한다. 본 글에서는 고출력 펨토초 펄스 레이저를 이용한 광섬유 격자의 직접 식각 방식에 의한 제작을 소개한다. 이 방법은 광민감성 광섬유가 아닌 일반 광섬유에도 광섬유 격자를 제작할 수 있을 뿐만 아니라[1], 위상 마스크를 필요로 하지 않기 때문에 다양한 패턴에 탄력적(flexible)으로 대응이 가능한 장점을 가지고 있다.

2. 극초단 레이저를 이용한 광섬유 브래그 격자 소자의 제작

펨토초 레이저 펄스는 높은 첨두출력(peak power)를 가지고 있어 투명물질의 내부에 집광되면 다광자흡수 등의 비선형 현상을 일으켜 굴절률을 변화시킬 수 있다. 또한 자기집속 현상에 의해 회절한계를 넘는 가공선폭을 얻을 수 있다. 이러한 특성은 서브 μm 의 작은 주기적인 패턴으로 이루어진 광섬유 격자의 제작에 매우 유리하다.

본 연구에서는 광섬유 격자의 제작을 위해 그림 1 과 같은 시스템을 구성하였다.

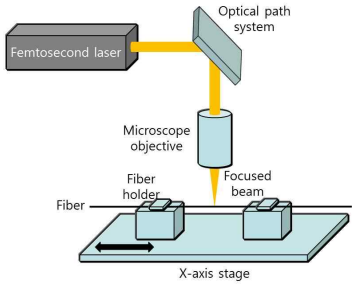

Fig. 1 Diagram of the fiber Bragg grating fabrication system

광원으로는 광섬유에 굴절률을 유도하기 위해서 필요한 피크파워($1x10^{12}$~$1x10^{13}$W/cm^2)를 얻기 위해서 이터븀(Yb) 첨가 광섬유 펄스 레이저를 사용하였다. 레이저 펄스의 반복률은 음향광학변조기를 이용하여 1MHz 에서 50MHz 까지 조절 가능하며 펄스 폭은 200fs, 최대출력은 10W 이다. 스테이지는 정밀한 제어을 위해 피코모터로 구동 되며 30nm 의 높은 해상도를 가지고 있다.

3. 광섬유 브래그 격자 소자의 디자인

광섬유 격자는 주기적인 굴절률 변화 배치로 인해 특정한 주파수의 빛에 대해서는 투과를 시키지 못하고 반사시킨다. 여기서 반사광의 대역폭은 광섬유 격자의 특징을 결정하는 중요한 요소이다. 특히 좁은 반사 대역폭을 가진 광섬유 격자는 민감한 환경변화를 감지하는 센서 또는 좁은 채널폭을 요구하는 필터 등으로의 응용에 유리하다. 또한 광섬유 CW 레이저에서는 레이저의 선폭에 광섬유 브래그 격자 소자의 반사 대역폭이 많은 영향을 준다. 한편 색분산 보상용으로 광섬유 격자를 이용하기 위해서는 다양한 펄스폭에 대응하기 위해서 대역폭이 넓어야 하고, 선형성의 group delay 특성을 가져야 한다.

다양한 특성의 광섬유 격자를 구현하기 위해서 이론적인 계산을 통해서 모델링을 하였다. 광섬유 격자의 정량적인 특성 해석에는 결합 모드 방정식(Coupled Mode Equations)을 이용하였다[2].

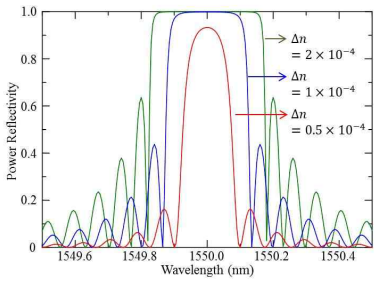

Fig. 2 Power reflectivity spectrum of uniform fiber Bragg grating. L=10mm

그림 2 은 서로 다른 굴절률 변화량에 대한 광섬유 격자의 반사 스펙트럼을 나타낸 것이다. 광섬유 격자의 굴절률 변화량이 적을수록 반사광의 대역폭이 좁아지는 것을 확인 할 수 있다. 굴절률 변화량(Δn)이 $0.5x10^{-4}$ 일 때 반사광의 대역폭(Δλ)은 0.14nm 이였다.

첩 광섬유 격자는 격자 주기를 진행방향으로 변화를 준 것으로 파장에 따라 반사되는 위치가 다르기 때문에 색분산 보상용의 광섬유 격자로 적합하다. 그림 2 는 첩 광섬유 격자의 반사특성과 group delay 스펙트럼을 나타낸 것이다.

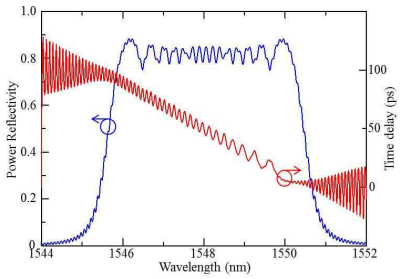

Fig. 3 Power reflectivity and group delay spectrum of a chirped fiber Bragg grating. L=10mm, $\Delta n=5x10^{-4}$, grating period range : 530.82nm~529.12.nm

그림 3 의 첩 광섬유 격자는 4.7 nm 의 상대적으로 넓은 대역폭(Δλ)과 선형적인 negative group delay 특성을 가지고 있음을 확인 할 수 있다.

이상의 모델링으로 좁은 반사 대역폭을 가진 광섬유 격자와 색분산 보상용의 첩 광섬유 격자의 디자인을 할 수가 있었다.

4. 결론

본 기고에서는 극초단 고출력 레이저를 이용한 광섬유 브래그 격자 소자를 직접 식각에 의한 방식으로 제작하기 위한 시스템의 구성을 소개하였으며 또한 모델링 작업을 통해 다양한 특성을 가지는 광섬유 격자 소자를 디자인 하였다.

후기

본 연구는 교육과학기술부 도약연구지원 사업과 우주기초원천기술 사업의 지원을 받아 수행 되었습니다.

참고문헌

1. A. Martinez, M. Dubov, I. Khrushchev, and I. Bennion, "Direct writing of fiber Bragg gratings by femtosecond laser," Electronics Letters, Vol. 40, No. 19, 2004.
2. T. Erdogan, "Fiber Grating Spectra," Journal of Lightwave Technology, Vol. 15, No. 8, 1997.