

광섬유 격자의 원리와 응용

Principles and Applications of Optical Fiber Gratings

이병호

서울대학교 전기공학부

byoungcho@plaza.snu.ac.kr

본 강좌에서는 광통신과 센서 분야에서 최근 실용화되고 있는 중요한 소자인 광섬유 격자(fiber grating)에 대해, 그 원리와 종류, 제작 방법, 시뮬레이션 기법, 광통신용 응용 및 광섬유 격자 센서 시스템의 구현 기법 등에 대해 설명한다. 별도로 제공되는 강의록에서 이에 대해 보다 구체적으로 기술할 것인 바, 그 요약은 아래와 같다.

광섬유에 굴절률 변화 패턴을 만들 수 있다는 사실은 1978년 Hill 등에 의해 발견되었고,⁽¹⁾ 1989년 Meltz 등에 의해, 자외선(UV) 레이저를 광섬유 측면에 조사하여 광섬유 코어(core)의 특정 부위에 광섬유 격자를 만드는 방법이 고안되었다.⁽²⁾ 광섬유에 격자가 새겨지는 원인에 대한 이론은 여러 가지가 있고 이들이 복합적으로 작용하지만, 중요한 요인은 산소가 빠진 게르마늄과 관련된(oxygen deficient germania related) 결함이다. 따라서, 게르마늄(Ge)이 높게 도우핑(doping)된 광섬유에 격자가 잘 새겨진다. 보통의 단일 모드 광섬유도 수소처리(hydrogenation)를 하면 자외선에 대한 광민감성(photosensitivity)을 증가시킬 수 있어 격자의 제작이 가능하다.⁽³⁾

광섬유 격자에는 보통의 광섬유 브래그 격자(fiber Bragg grating), 장주기 격자(long-period grating), 처핑된 격자(chirped grating), 경사진 격자(tilted grating), 표본 격자(sampled grating), 위상천이 격자(phase-shifted grating) 등이 있으며, 이들은 각각 다른 특성을 갖는다. 광섬유 브래그 격자는 광섬유 내에서 앞으로 진행하던 코어 모드의 빛을 반사시켜 뒤로 진행하는 코어 모드로 만든다. 장주기 격자는 앞으로 진행하는 코어 모드와 앞으로 진행하는 클래딩(cladding) 모드(들) 간의 결합(coupling)을 유발한다. 처핑된 격자는 위치에 따라 굴절률 변화 간격을 다르게 하여 반사되는 빛의 파장이 위치마다 다르게 하는 것으로서, 분산 보상(dispersion compensation) 등에 쓰인다.⁽⁴⁾

광섬유 격자는 대부분 KrF 엑시머(excimer) 레이저나 제 2 고조파(frequency-doubled) Ar 이온(ion) 레이저를 사용하여 만들어지며, 조사되는 레이저의 공간적 세기 변조를 위해 위상 마스크(phase mask, 광섬유 브래그 격자의 경우)나 진폭 마스크(amplitude mask, 장주기 격자의 경우)를 사용한다. 긴 길이의 처핑된 격자는 레이저 빔을 광섬유에 대해 스캐닝(scanning)하여 만든다.

광섬유 격자의 해석은 주로 결합 모드 이론에 기초한다.⁽⁵⁾ 비주기적인 임의의 형태의 격자 구조에 대해서는 격자를 잔 구간들로 나누어 결합모드 이론을 적용하는 것이 효과적이다.⁽⁶⁾ 광섬유 격자에 대해, 시뮬레이션과 대조되는 개념으로 합성(synthesis)이 있는데, 이는 원하는 투과 스펙트럼 (또는 반사 스펙트럼)을 주고 이러한 특성을 나타내는 격자 구조를 설계하는 것이다. Feced 등이 이러한 기법을 개발하였다.⁽⁷⁾

광섬유 격자는 광통신용으로 다양하게 응용된다. 광섬유 브래그 격자는 파장분할광통신(WDM)용 Add/Drop 멀티플렉서(multiplexer)로서 이용될 수 있으며, 금속 코팅(coating)을 하여 여기에 전류를 흘려 그 열로써 튜닝(tuning)을 하거나⁽⁸⁾ 스트레인(strain)을 가해 튜닝할 수 있다. 최근에는 다중 포트 써큘레이터(multiport circulator)와 광섬유 브래그 격자를 이용한 양방향 Add/Drop 멀티플렉서도 제안되고 있다.⁽⁹⁾ 처핑된 광섬유 격자는, 앞으로 분산보상 광섬유보다 큰 분산 보상 시장을 차지할 분산보상 모듈

을 위한 중요한 기술중 하나이다. 또한, 광섬유 격자는 어븀 첨가 광섬유 증폭기(EDFA)의 이득 평탄화에도 사용될 수 있으며, 그 밖에도 광섬유 레이저 등에 이용될 수 있다.

광섬유 센서는 전자파 장애에 강하다는 중요한 특징을 갖고 있는데, 광섬유 격자를 이용한 센서는 여러 가지의 물리량을 측정할 수 있으나, 주로 스트레인을 측정하는 데에 이용된다. 이에 광섬유 브래그 격자가 센서 헤드(head)로서 주로 사용되며 다중화(multiplexing) 기법을 이용해 다중점(multi-point) 측정도 가능하여 60개 이상의 격자를 사용한 센서도 보고되고 있다.⁽¹⁰⁾ 실제적 적용을 위해 중요한 문제 중 하나는 광섬유 브래그 격자의 반사 파장의 변화에서 스트레인에 의한 영향과 온도에 의한 영향을 구별해 내는 것이다. 이를 위해서 반사파장이 다른 두 브래그 격자로 된 세트를 센서 헤드로 사용하는 등의⁽¹¹⁾ 많은 연구가 수행되었다. 물리량에 의한 브래그 파장의 변화를 모니터링하는 디모듈레이터(demodulator, 또는 interrogator라고도 함.)가 또한 중요한데, 이에 튜너블(tunable) 광섬유 패브리-페로(Fabry-Perot) 필터나⁽¹²⁾ 에지(edge) 필터 등이 많이 쓰인다.⁽⁵⁾ 이제 상용화된 광섬유 격자 센서 시스템 제품이 등장하고 있다.

참고문헌

1. K. O. Hill, Y. Fujii, D. C. Johnson, and B. S. Kawasaki, "Photosensitivity in optical fiber waveguides: application to reflection filter fabrication," *Appl. Phys. Lett.* **32**, 647-649 (1978).
2. G. Meltz, W. W. Morey, and W. H. Glenn, "Formation of Bragg gratings in optical fibers by a transverse holographic method," *Opt. Lett.* **14**, 823-825 (1989).
3. P. J. Lemaire, "Reliability of optical fibers exposed to hydrogen: prediction of long-term loss increases," *Opt. Engin.* **30**, 780-781 (1991).
4. T. Erdogan, "Fiber grating spectra," *J. Lightwave Technol.* **15**, 1277-1294 (1997).
5. A. Orthonos and K. Kalli, *Fiber Bragg Gratings - Fundamentals and Applications in Telecommunications and Sensing* (Artech House, Boston, MA, USA, 1999).
6. Y. Jeong and B. Lee, "Nonlinear property analysis of long period fiber gratings using discretized coupled-mode theory," *IEEE J. Quantum Electron.* **35**, 1284-1292 (1999).
7. R. Feded, M. N. Zervas, and M. A. Muriel, "An efficient inverse scattering algorithm for the design of nonuniform fiber Bragg gratings," *IEEE J. Quantum Electron.* **35**, 1105-1115 (1999).
8. H. G. Limberger, N. H. Ky, D. M. Costantini, R. P. Salathe, C. A. P. Muller, and G. R. Fox, "Efficient miniature fiber-optic tunable filter based on intracore Bragg grating and electrically resistive coating," *IEEE Photon. Technol. Lett.* **10**, 361-363 (1998).
9. J. Kim and B. Lee, "Bidirectional wavelength add-drop multiplexer using multiport optical circulators and fiber bragg gratings," *IEEE Photon. Tech. Lett.* **12**, 561-563 (2000).
10. S. T. Vohra, M. D. Todd, G. A. Johnson, C. C. Chang, and B. A. Danver, "Fiber Bragg grating sensor system for civil structure monitoring: applications and field tests," *Proc. 13th Int. Conf. Optical Fiber Sensors*, Kyongju, Korea, *Proc. SPIE* **3746**, 32-37 (1999).
11. M. G. Xu, J.-L. Archambault, L. Reekie, and J. P. Dakin, "Discrimination between strain and temperature effects using dual-wavelength fibre grating sensors," *Electron. Lett.* **30**, 1085-1087 (1994).
12. A. D. Kersey, T. A. Berkoff, and W. W. Morey, "Multiplexed fiber Bragg grating strain-sensor system with a fiber Fabry-Perot wavelength filter," *Opt. Lett.* **18**, 1370-1372 (1993).