

광 밴드갭 광섬유를 이용한 Mach-Zehnder 형 간섭계 In-fiber Mach-Zehnder Type Interferometer in Hollow-core Photonic Bandgap Fiber

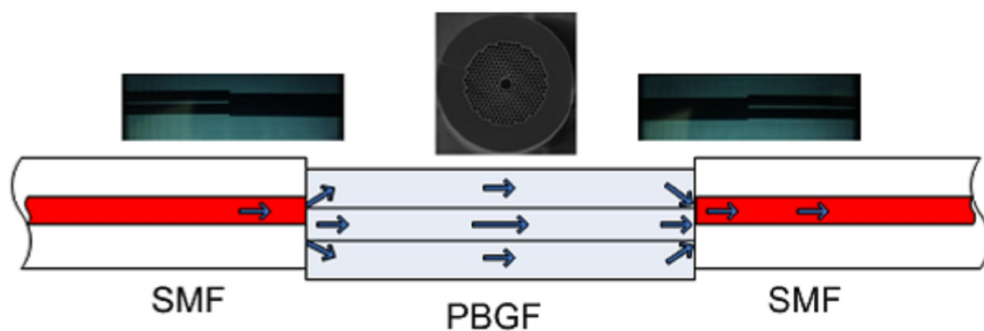
김길환**, 김선덕*, 황규진*, 이관일*, 이경식**, 이상배*

*한국과학기술연구원 지능시스템연구본부 **성균관대학교 전자전기공학과 광통신 연구실

esses@kist.re.kr

주기적으로 배열된 공기층 구조가 광 밴드갭을 형성하여, 빛을 가운데의 공기층으로 도파 시키는 광 밴드갭 광자결정 광섬유(PBGF)는 일반 단일모드 광섬유로는 구현하기 어려운 여러 가지 독특한 특성들을 가지므로, 광센서 분야에 응용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다⁽¹⁾. 특히, 일반적인 단일모드 광섬유로는 구현하기 힘든 성능을 광 밴드갭 광섬유를 이용한 응용분야로써 간섭계 구현에 관한 연구들이 최근 발표되었다⁽²⁻³⁾. 이 중에서 전광섬유 간섭계의 경우 제작이 간단하고 소형이므로, 온도나 스트레인 및 구부림과 같은 물리적 변화에도 민감한 광학적 특성을 보이기 때문에 광센서로도 적용이 가능하다. 본 논문에서는 hollow-core 광 밴드갭 광섬유를 이용한 Mach-Zehnder형 간섭계를 구현하여 특성을 측정하였으며, 스트레인과 온도에 대한 특성을 살펴보았다.

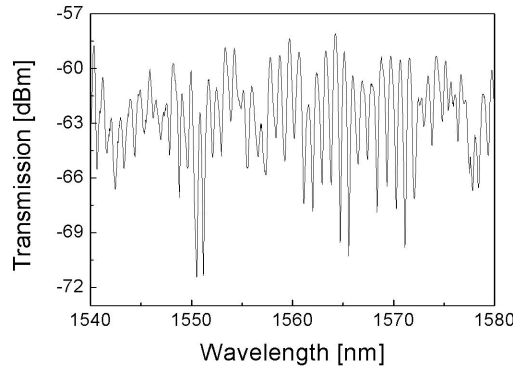
본 논문에서는 off-set 용착접속, tapering, air-hole collapsing⁽⁴⁾과 같은 Mach-Zehnder형 광섬유 간섭계의 제작 방법들 중 그림 1과 같이 offset 용착접속 방법을 이용하였다. 두 개의 일반모드 광섬유 사이에 광 밴드갭 광섬유를 용착접속시 양쪽 모두를 광섬유 코어의 정렬을 어긋나게 함으로써 코어 모드의 일부분을 광 밴드갭 광섬유의 surface mode로 결합시키고, 다시 코어 모드로 결합시키는 Mach-Zehnder형 간섭계를 구현할 수 있다. 이때 offset 용착접속은 용착접속기 (Ericsson FSU 975)의 간단한 프로그램 기능을 이용하여 손쉽게 구현 할 수 있다.



[그림 1] offset 용착접속 방법을 이용한 Mach-Zehnder형 광 밴드갭 광섬유 간섭계의 개념도

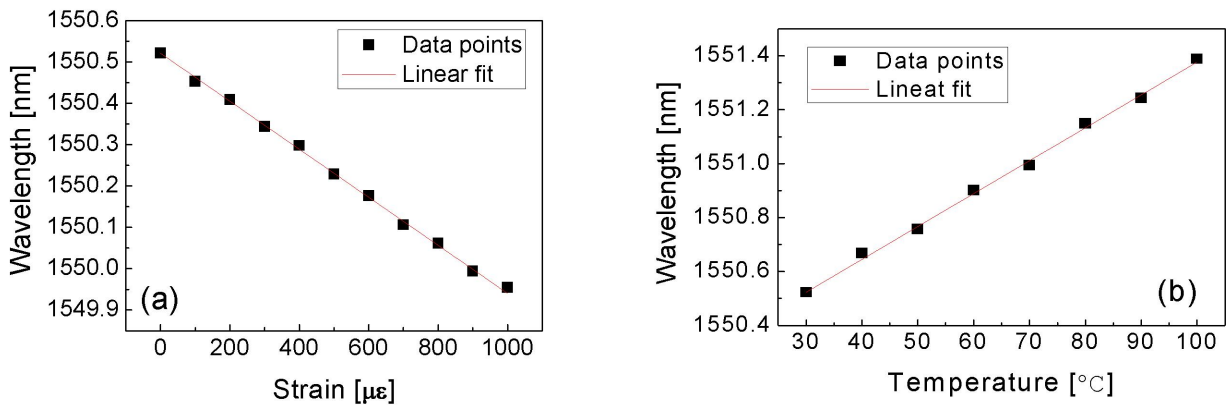
광 밴드갭 광섬유를 이용한 Mach-Zehnder 형 간섭계의 간섭 위상 차는 광 밴드갭 광섬유의 코어 모드와 surface mode의 유효 굴절률 차이(Δn)와 광섬유의 길이(L)에 의해 결정되며, 측정된 스펙트럼에서의 인접한 두 peak 사이의 파장 간격($\Delta\lambda$)은 다음과 같이 $\Delta\lambda = \lambda^2 / (\Delta n \cdot L)$ 으로 표현될 수 있다⁽³⁾. 그림 2 는 supercontinuum source 와 광 스펙트럼 분석기로 측정된 간섭 스펙트럼을 보여주고 있다. 간섭 무늬의 최대 contrast 는 11dB 이며, 인접한 peak 파장의 간격은 1550.521nm 에서

0.92nm 로 측정되었다. 이때, 사용된 광 밴드갭 광섬유의 길이는 26mm 이었으며 길이가 길어질수록 간섭 무늬의 간격은 줄어드는 것을 확인 할 수 있었다.



[그림 2] 구현된 광 밴드갭 광섬유 간섭계의 전송 특성

구현된 광 밴드갭 광섬유 간섭계의 센서 응용에 이용될 수 있는지를 살펴보기 위해 스트레인과 온도를 변화시켜가면서 임의의 간섭계 peak 1550.521nm 파장의 변화를 측정하였다. 스트레인을 인가하였을 때 스펙트럼이 단파장으로 이동하며, 온도를 증가시키에 따라서는 장파장으로 이동하는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 구현된 간섭계는 스트레인과 온도에 대해서 각각 $-0.58 \text{ pm}/\mu\epsilon$, $470.8 \text{ pm}/\text{C}\cdot\text{m}$ 의 민감도를 갖는 것으로 측정되었으며, 매우 선형적으로 변화는 것을 알 수 있었다.



[그림 3] (a) 스트레인, (b) 온도의 변화에 따른 간섭 무늬 peak의 파장이동

요약하면, offset 용착접속 방법을 통하여 광 밴드갭 광섬유를 이용한 Mach-Zehnder 형 간섭계를 구현하였다. 상용화된 용착접속기를 이용하여 용이하게 구현된 간섭계는 10dB 이상의 간섭무늬 contrast 를 얻을 수 있었다. 또한, 스트레인 및 온도에 대한 물리적 변화의 결과를 볼 때 매우 선형적이어서 센서로서의 활용 가능한 것을 확인 하였다.

참고 문헌

1. F. Benabid, et al., "Light and gas confinement in hollow-core photonic crystal fibre based photonic microcells", Journal of the European Opt. Soc., 09004 2009
2. G. Kim, et al., "Strain and temperature sensitivities of an elliptical hollow-core photonic bandgap fiber based on Sagnac interferometer", Optics Express, Vol.17, No.4, 16 February 2009
3. J. Ju, et al., "Photonic bandgap fiber tapers and in-fiber interferometric sensors", Optics Letters, Vol.34, No.12, 15 June 2009
4. H.Y. Choi, et al., "All-fiber Mach-Zehnder type interferometers formed in photonic crystal fiber", Optics Express, Vol.15, No.9, 25 April 2007