

높은 복굴절율을 갖는 테라헤르츠용 광결정 섬유

조민수*, 박홍규, 김정희, 한해욱
포항공과대학교 나노테라포토닉스 연구실

Highly birefringent terahertz plastic photonic crystal fibers

Minsu Cho*, Hongkyu Park, Jeonghoi Kim, Heakwook Han
Department of Electronics and Electrical Engineering
Pohang University of Science and Technology
E-mail : *mandark@postech.ac.kr

Abstract

Guided-wave propagation of sub-ps terahertz (THz) pulses in a highly birefringent plastic photonic crystal fiber has been experimentally demonstrated. The fabricated fibers have exhibited an extremely high birefringence of ~ 0.021 at 0.3 THz.

I. 서론

최근 THz 발생과 측정 실험 과정에서 THz 용 소자의 필요성이 커지면서 소자의 기본이 되는 저손실 도파로 필요성이 매우 커지고 있다. 지금까지 여러 종류의 테라헤르츠용 도파로에^[1] 대한 연구가 보고되었다. 그 중에서 특히 플라스틱으로 제작된 광결정 섬유는 THz 영역에서 0.5 cm^{-1} 이하로 작은 손실을 가진다는 내용이 발표되었다.^[2]

일반적인 광결정 섬유의 경우 실리카로 제작되지만 THz 영역에서는 손실이 큰 실리카 대신에 손실이 작은 플라스틱을 이용하여 광결정 섬유를 제작한다. 본 연구실에서는 플라스틱 광결정 섬유 (PPCF)를 제작하여 THz 영역에서 그 특성을 측정할 바 있다. 이러한 PPCF 지식을 바탕으로 복굴절율이^[3] 큰 광결정 섬유를 제작하고, THz time-domain spectroscopy (THz-TDS)를 이용하여 이를 측정하였다.

II. 실험

BackgroundSS PPCF 는 지름이 $500 \mu\text{m}$ 인 high density polyethylene (HDPE) 튜브를 이용하여 제작하였다. HDPE 튜브를 2 차원 삼각형 광결정 구조로 쌓은 후, 일반적인 퍼니스 안에서 $135 \text{ }^\circ\text{C}$ 의 열로 녹여 붙이는 방법으로 PPCF 를 제작하였다. PPCF 의 주기는 $500 \mu\text{m}$ 이고, 튜브의 두께는 $50 \mu\text{m}$ 이며, 이에 해당하는 air filling factor 는 0.673 이다. 삼각형 격자 구조의 중심에 두 개의 HDPE 필라멘트를 넣어서 높은 비대칭 유전을 결합을 만들었다. 그림 1 은 제작된 PPCF 의 광학 현미경 사진이다. 이러한 PPCF 을 계산하기 위해서 평면파와 Hermite-Gaussian wave 를 이용한 잘 알려진 localized expansion method 를 사용하였다.

도파로 측정에 사용되는 일반적인 THz 파 측정 장비를 이용하여 제작된 PPCF 를 측정한다. THz 펄스는 (111) SI(semi insulate)-GaAs 기판을 사용하여 광정류 방식으로 발생시켰다. 발생한 THz 펄스는 LTG(low temperature growing)-GaAs 기판 위에 광전도 안테나를 제작하여 측정하였다. 또한, Hypersemispherical silicon lens 를 이용하여 THz beam 과 도파로 사이의 결합효율 (coupling efficiency)를 높였다.

III. 실험 결과

그림 2에서 점선은 2 cm 길이의 PPCF를 통과한 후에 측정된 신호이고, 실선은 계산된 신호이며, 삽입 그림은 PPCF를 제거한 후에 측정한 입력 신호이다. 그림 2(a)와 그림 2(b)는 각각 방향이 서로 수직인 두 개의 편광에 대하여 측정한 측정값이다. 입력 신호의 펄스 폭(FWHM)은 약 0.8 ps 이지만 PPCF를 통과한 후의 펄스 폭은 두 편광 모두에 대하여 약 6 ps 정도로 넓어진다. 두 편광 신호의 최고점에서 보면 두 신호 사이에서 약 420 fs 정도의 시간지연이 있는 것을 확인할 수 있는데 이는 두 편광 모드의 진행 상수가 차이 때문에 발생한 것이다. 그림 2에 나와 있듯이 이론적인 계산값과 측정값이 매우 잘 일치함을 볼 수 있다.

그림 3은 모드의 복굴절율의 변화를 주파수에 따라 나타낸 것이며, 이는 THz-TDS 기술로 측정된 THz 펄스의 크기와 위상으로부터 계산하였다. 두 편광 모드에 대하여 측정된 유효 굴절율은 각각 0.3 THz에서 1.296, 1.275 이고, 측정된 전체 스펙트럼에서 최고 유효 굴절율 차이로 0.21이다.

IV. 결론

THz PPCF는 매우 높은 복굴절율을 가질 수 있음을 실험적으로 증명하였다. 이러한 측정은 동시에 신호의 크기와 위상을 측정할 수 있는 THz-TDS 기술을 이용하여 행하여졌으며 실험과 이론이 매우 잘 일치하였다.

참고문헌

- [1] G. Gallot, et al, "Terahertz waveguides", J. Opt. Soc. Am. B, vol. 17, no. 5, pp. 851-863, 2000.
- [2] H. Han et al, "THz pulse Propagation in Plastic Photonic Crystal Fibers, Appl. Phys. Letter., vol. 80, pp. 2634-2636, 2002
- [3] A. Ortigosa-Blanch et al, "Highly Birefringent Photonic Crystal Fiber", Optics Letter, vol. 25, no.18, pp. 1325-1327, 2000

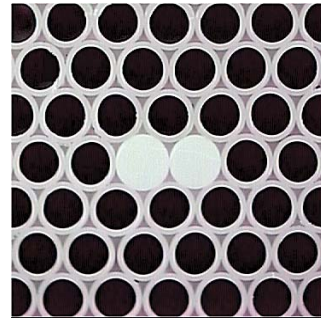


그림 1. 제작된 PPCF의 광학 현미경 사진

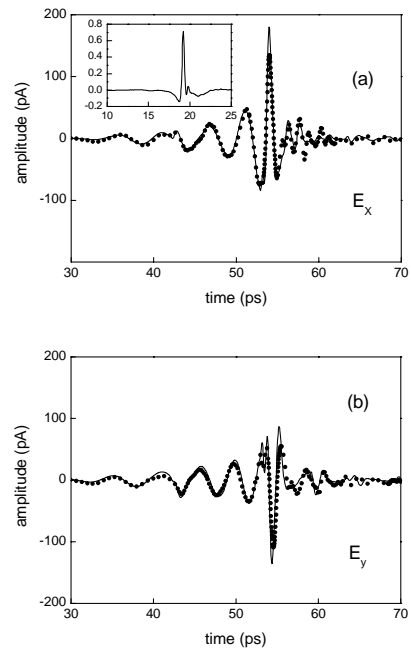


그림 2. 2 cm 길이의 공기 PPCF 통과한 후 측정 신호 (점선)과 계산된 반사율 (실선), 삽입 그림은 입력신호

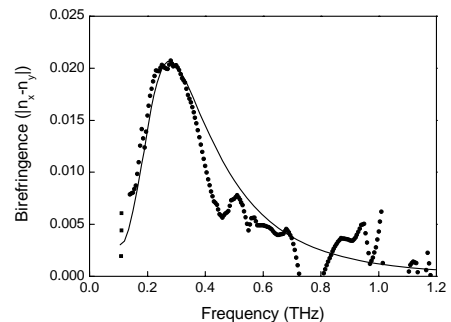


그림 3. 측정 (점선), 계산 (실선) 복굴절율