

테라헤르츠용 높은 복굴절율을 갖는 광결정 섬유

Highly Birefringent Plastic Photonic Crystal Fibers for THz Radiation

조민수, 박홍규, 김정희, 한해욱

포항공과대학교 전기전자공학과

mandark@postech.ac.kr

최근 광결정 섬유는 독특한 성질과 구조로 인해 전 세계적으로 많은 관심을 불러일으키고 있다. 광결정 섬유는 넓은 밴드에서 단일 모드로 동작하거나, 특이한 분산 특성 보이는 등, 일반적인 광섬유에서 가질 수 없는 광특성들을 가지는 것으로 보고되고 있다. 광결정 섬유는 일반 광섬유와 달리 코어 클래딩의 굴절율 차이가 커서 높은 복굴절율을 가진다. 편광 특성에서 일반적인 광섬유의 문제점은 코어와 클래딩 면의 불완전성으로 인해 임의의 복굴절율을 유도하게 되고 이는 임의의 편광을 생성한다는 것이다. 이러한 문제점은 높은 복굴절율을 갖는 광섬유를 제작함으로써 해결할 수 있다. 현재 표준광섬유 코어에 스트레스를 가하여 만들어지는 편광유지 광섬유의 경우 $\sim 5 \cdot 10^{-4}$ 정도의 복굴절율이 생성된다. 그리고 광통신 영역에서 제작된 편광유지 광결정 섬유의 경우 $\sim 7.7 \cdot 10^{-3}$ 의 복굴절율을^{[1][2]} 갖는 것으로 알려져 있다.

이러한 광결정 섬유는 테라헤르츠 (THz) 대역에서도 응용이 가능성이 높다. 특히 THz 실험에서 THz 용 소자가 거의 개발되어 있지 않을 상황에서 광결정 섬유와 같은 도파로는 중요한 소자로 응용 될 수 있다. 본 연구실에서는 THz 대역에서 손실이 큰 실리카 대신에 손실이 작은 플라스틱을 이용하여 광결정 섬유를 제작한 바 있으며^[3], THz time-domain spectroscopy (THz-TDS) 기술을 이용하여 그 특성을 정확하게 측정한 바 있다. 이 논문에서는 큰 복굴절율을 갖는 테라헤르츠용 플라스틱 광결정 섬유 (Plastic Photonic Crystal Fiber, PPCF)를 제작하고 THz-TDS 기술을 이용한 측정을 통하여 제작된 광결정 섬유가 높은 복굴절율을 가짐을 보이고자한다.

PPCF는 지름이 $500\mu\text{m}$ 인 상용으로 출시되는 제품인 high density polyethylene (HDPE) 튜브를 이용하여 제작하였다. HDPE 튜브를 2차원 삼각형 광결정 구조로 쌓은 후, 일반적인 퍼니스 안에서 135°C 의 열로 녹여 붙이는 방법으로 PPCF를 제작하였다. PPCF의 주기는 $500\mu\text{m}$ 이고, 튜브의 두께는 $50\mu\text{m}$ 이며, 이에 해당하는 air filling factor는 0.673이다. 삼각형 격자 구조의 중심에 두 개의 HDPE 필라멘트를 넣어서 높은 비대칭 유전율 결합을 만들었다. 그림 1은 제작된 PPCF의 개략도이다. 또한, PPCF를 계산은 평면파와 Hermite-Gaussian wave를 이용한 잘 알려진 localized expansion method를 사용하여 실행하였다.

일반적인 도파로 측정에 사용되는 일반적인 THz파 측정 장비^[3]를 이용하여 제작된 PPCF를 측정한다. THz 펄스는 (111) SI(semi insulate)-GaAs 기판을 사용하여 광정류 방식으로 발생시켰다. 발생된 THz 펄스는 금으로 코팅된 90도 off-axis parabolic mirror를 이용하여 줄맞춤 되었다. 줄맞춤 된 THz pulse를 Hypersemicylindrical silicon lens를 이용하여 THz beam과 광결정 섬유 사이의 결합효율 (coupling efficiency)를 높여 광결정 섬유에 입사시켰다. 광결정 광섬유를 통과한 후에 사용되는 THz pulse arrangement 입사할 때와 같은 형태로 되어있다. THz 펄스의 측정은 LTG(low temperature growing) -GaAs 기판 위에 광전도 안테나를 제작하여 측정하였다.

그림 2에서 점선은 2cm 길이의 PPCF를 통과한 후에 측정된 신호이고, 실선은 계산된 신호이며, 삽입 그림은 PPCF를 제거한 후에 측정된 입력 신호이다. 그림2(a)와 그림 2 (b)는 각각 방향이 서로 수직인 두 개의 편광에 대하여 측정된 결과이며 이론적인 계산값과 측정값이 매우 잘 일치함을 볼 수 있다. THz-TDS 기술로 측정된 THz 펄스는 크기와 위상 동시에 측정할 수 있어서 이 측정값으로부터 주파수에 따른 복굴절율을 계산하였다. 두 편광 모드에 대한 측정된 최고 유효 굴절을 차이는 0.3 THz에서 0.21로 측정되었다.

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.

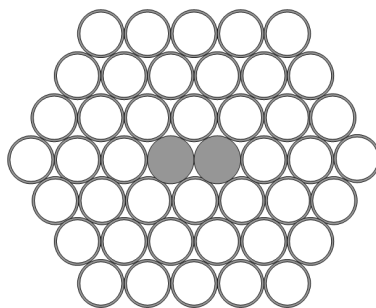


그림1. 제작된 PPCF의 개략도

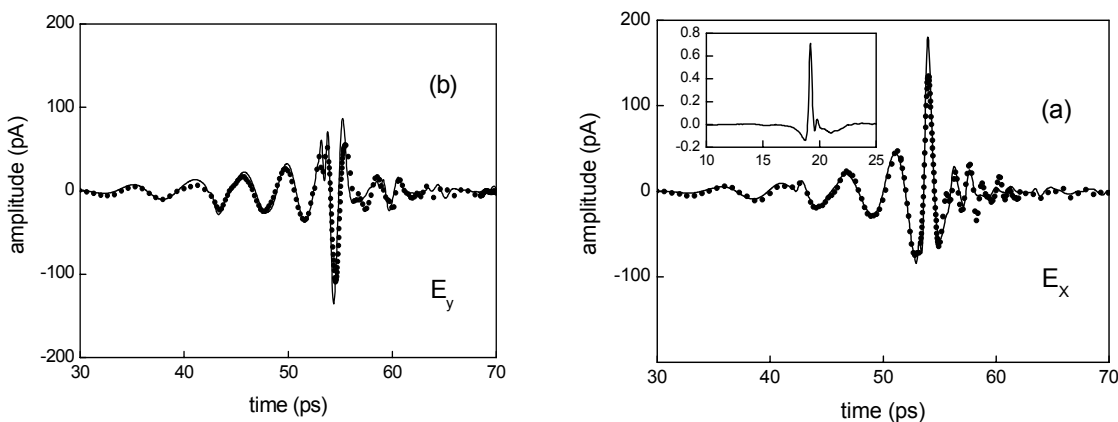


그림2. PPCF통과한 후 측정 신호 (점선)과 계산된 반사율 (실선), 삽입 그림은 입력신호

참고 문헌

[1] T. P. Hansen, et al, "Highly Birefringent Index-Guiding Photonic Crystal Fibers", IEEE Photonics Technol. Lett., vol. 13, no. 6, pp. 588-590, 2001.
 [2] A. Ortigosa-Blanch et al, "Highly Birefringent Photonic Crystal Fiber", Optics Letter, vol. 25, no.18, pp. 1325-1327, 2000
 [3] H. Han et al, "THz pulse Propagation in Plastic Photonic Crystal Fibers, Appl. Phys. Letter., vol. 80, pp. 2634-2636, 2002