단일 모드 테라헤라츠 광결정 광섬유

Single Mode Terahertz Photonic Crystal Fiber

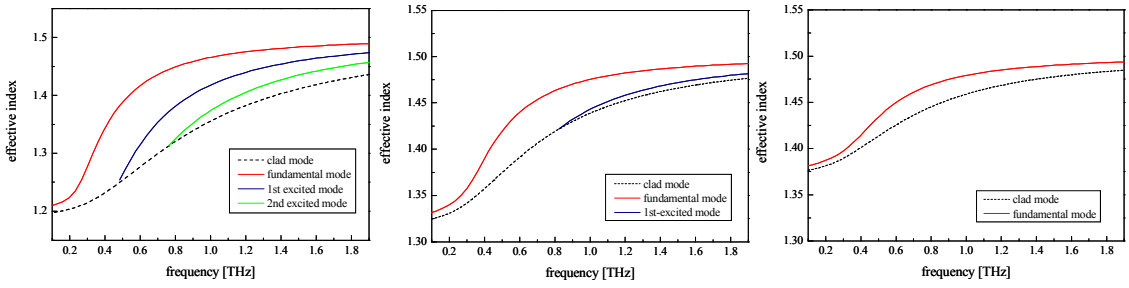
김소은, 기철식, 고도경, 이종민

광주과학기술원 고등광기술연구소, 테라헤르츠 포토닉스 연구팀

cskee@gist.ac.kr

테라헤라츠파 (Terahertz (THz) radiation) 은 mm파와 원적외선 사이의 주파수 : 0.1 ~ 10 THz (Terahertz)인 전자기파를 말하며, 의학, 산업, 공해감시, 보안검색 등 광범위 하게 응용되어 지기 때문에 중요한 주파수 영역이다. 최근에 THz 광원 과 검출기에 대한 활발한 연구로 인해서 THz 전자기파를 이용한 응용분야에 대한 다양한 연구결과들이 발표되었다[1-3]. 그러나 아직도 THz 전자기파를 도파로를 통해 전송시키는 데에는 높은 분산 값과 높은 전송손실과 같은 문제점이 남아있다[4-5]. 최근에 이러한 문제점을 해결하기위해서 광결정 광섬유 (photonic crystal fiber : PCF) 를 이용한 THz 도파로가 보고되었다[6-7]. 공기구멍의 주기적인 배열과 결점코어로 이루어진 광결정 광섬유는 기존의 광섬유가 가지고 있는 않는 여러 가지 독특한 광학적 특성들을 가짐으로서, 모든 주파수 영역대에서 단일모드 전송이 가능하고, 분산 특성을 조절할 수 있는 자유도 또한 높아 여러 분야에서 다양하게 이용되어지고 있다. 일반적으로 PCF를 제작하는데는 실리카를 이용하지만, THz 주파수 영역에서는 실리카가 갖는 물질의 흡수 손실이 너무 커서 THz PCF를 제작하는 경우에는 THz 주파수 (0.1 THz ~ 2 THz)에서 흡수 손실이 거의 없는 플라스틱의 한 종류인 폴리에틸렌 (polyethylene)을 주로 이용한다.

본 논문에서는 폴리에틸렌을 이용한 일반적인 삼각형격자의 PCF를 가지고 THz 주파수 영역에서 단일모드 전송이 가능한 PCF 구조를 제안하였다. 공기구멍크기에 따른 단일모드 특성, 분산특성의 변화와 모드 분포를 평면파 전개방식 (plane wave expansion method)와 빔 전파 방식 (beam propagation method)을 이용하여 계산하였다.

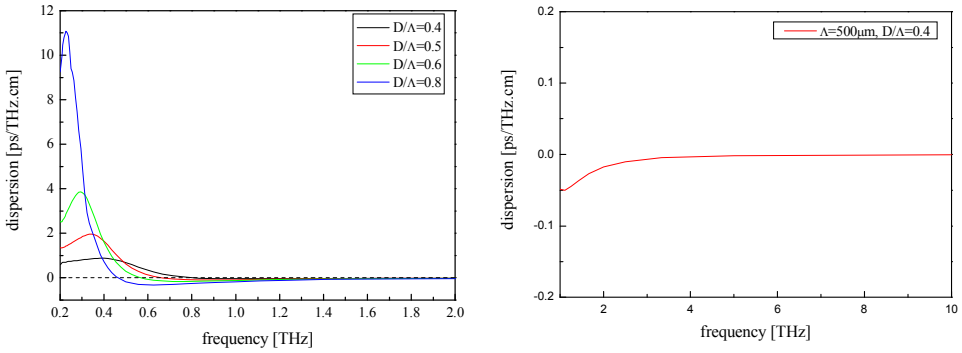


(a) (b) (c)

그림1. 각각 다른 D/Λ을 갖는 THz PCF의 주파수에 따른 effective index 분포
(a) D/Λ = 0.8, (b) D/Λ=0.6, (c) D/Λ = 0.4

그림 1은 제안된 THz PCF의 공기구멍 크기에 따른 mode index 의 변화이다. 이때 공기구멍 사이의 간격 (Λ)은 500μm로 일정하고 폴리에틸렌의 굴절률은 1.5263이다. 실리카 PCF

의 단일모드 조건과 흡사하게 공기구멍의 크기가 작아질 수록 단일모드 전송이 가능한 주파수 영역대가 증가한다. 그림 1(c)에서 알 수 있듯이 D/Λ=0.4일 경우 THz 주파수 영역, 0.1 – 2 THz에 걸쳐서 단일모드 전송이 가능하다.



(a) (b)

그림2. (a) D/Λ에따른 THz PCF의 분산특성 과 (b) D/Λ=0.4일 때 분산특성의 확장그림

모드의 전송 특성 외에도 THz PCF의 공기구멍의 크기에 따른 분산특성을 계산하였다. 그림 2(a)에서는 공기구멍의 크기가 클수록 낮은 주파수 영역에서 갖는 positive peak이 크고 공기구멍의 크기가 작을수록 분산 값이 넓은 주파수 영역에서 편평함을 알 수 있다. 그림 2(b)는 작은 공기구멍(D/Λ=0.4)을 가지는 분산 값을 확대해서 본 그림이다. 공기구멍 사이의 거리, Λ = 500μm 와 공기구멍의 크기, D = 200μm 인 THz PCF의 분산값은 주파수 1 THz에서 10 THz 사이에서 −0.03±0.02 ps/THz cm로서 넓은 주파수 영역에서 편평한 분산 값을 갖는다.

본 논문에서는 단일 모드 전송이 가능한 삼각형 격자구조의 THz PCF를 제안하였다. 이러한 THz PCF는 넓은 주파수 영역에서 단일 모드 전송이 가능하다는 특성 뿐만아니라 아주 낮은 분산 값을 갖는 특성을 보인다.

참고문헌

1. X.-C. Zhang, "Terahertz wave imaging : horizons and hurdles," Phys. Med. Biol. 47, 3667-3677 (2002).

2. P. H. Siegel, "Terahertz technology in biology and medicine" IEEE Trans. Microwave Theory Technol. 52, 2438-2447 (2004)

3. D. Dragoman and M. Dragomanr, "Terahertz fields and applications," Prog. Quantum Electron. 28, 1-66 (2004)

4. G. Gallot, S. P. Jamison, R. W. McGowan, and D. Grischkowsky, " Terahertz waveguides," J. Opt. Soc. Am. B. 17, 851-863 (2000).

5. J. Zhang and D. Grischkowsky, "Waveguide terahertz time domain spectroscopy of nanometer water layers," Opt. Lett. 29, 1617-1619 (2004)

6. H. Park, M. cho, J. Kim, and H. Han, "Terahertz pulse transmission in plastic photonic crystal fibers," Phys. Med. Biol. 47, 3765-3769 (2002)

7. M. Goto, A. Quema, H. Takahashi, S. Ono, and N. Sarukura, "Teflon photonic crystal fiber as terahertz waveguides," Jpn. J. Appl. Phys. 43, L317-L319 (2004)