

테라헤르츠 시간 도메인 분광학을 이용한 공기유도 광결정 도파로의 특성 확인

Characterization of Air-guiding Photonic Crystal Waveguides by THz Time-domain Spectroscopy

조민수, 박홍규, 한연호, 한해욱
포항공과대학교 전기전자공학과
mandark@postech.ac.kr

최근 테라헤르츠 (THz)를 이용한 전파 측정실험에서 THz 소자에 대한 중요성이 커지고 있다. 의학, 바이오, 우주 통신, 비파괴 검사 등 넓은 영역에서 THz 응용 가능성이 높아지면서 응용에 필요한 THz 소자 개발이 더욱 중요하게 되었다. THz 소자에 대한 개발이 초보적인 수준에 머무르고 있는 시점에서 THz 소자의 기본이 되는 도파로의 개발이 매우 필요한 실정이다.

광결정 도파로 (Photonic Crystal Waveguide, PCW)는 광밴드갭 효과에 의한 여러 가지 광학적인 특성이 알려지면서 많은 관심을 모으고 있다. 더욱이 PCW는 기존의 도파로와 달리 광밴드갭 효과를 이용하여 공기 층으로 빛을 속박할 수 있기 때문에 매우 낮은 손실을 갖는 것으로 알려져 있다.^[1] 이러한 공기유도 PCW는 손실이 작은 도파로가 거의 개발 되지 않은 THz 영역에서 소자으로써 이용 가능성이 매우 크다고 할 수 있다. 본 논문에서는 공기유도 PCW를 제작하고 Terahertz Time-domain Spectroscopy (THz-TDS) 기술을 통하여 효과적으로 동작하는 것을 보였다.

1차원 광결정은 공기/유전체 층을 한 쌍으로 4개 주기로 제작되었다. 유전체 물질로는 high resistivity 실리콘이 사용되었으며, 그 이유는 실리콘은 THz 대역에서 그 손실이 매우 작은 물질이기 때문이다. 공기와 실리콘 층의 두께는 각각 77 nm와 76 nm이다. 실리콘층 사이에 실리콘 스페이서를 넣어서 공기 층을 지지하며 실리콘 층에 접착성이 강한 왁스를 이용하여 실리콘 스페이서를 부착하였다. 원하는 두께의 실리콘 층은 CMP (chemical mechanical polishing)를 이용하여 제작되었다. 이러한 방법으로 2개의 1차원 광결정을 제작한 후에 이들 사이를 420 nm 거리의 공기 결함을 만들어서 그림 1에 나와 있는 공기유도 PCW를 제작하였다.

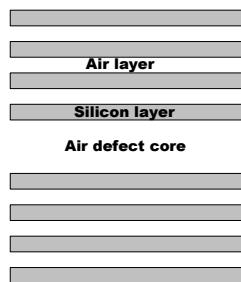


그림 1 제작된 광결정 도파로의 개략도

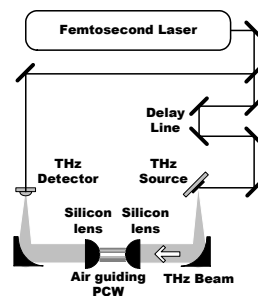


그림 2 공기유도 광결정 도파로의 측정 장치 개략도

그림 2에 나와 있는 것과 같이 일반적인 도파로 측정에 사용되는 일반적인 THz파 측정 장비를^[2] 이용하여 제작된 PCW를 측정한다. THz 펄스는 (111) SI(semi insulate)-GaAs 기판을 사용하여 광정류 방식으로 발생시켰다. 발생한 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. 또한 광결정도파로의 광밴드와 속박 모드는 잘 알려진 Transfer Matrix Method (TMM)을^[3] 이용하여 계산하였다.

그림 3에서 점선은 1cm 길이의 공기유도 PCW를 투과한 후에 측정된 신호이고, 실선은 계산된 신호이며, 삽입 그림은 공기유도 PCW를 제거한 후에 측정한 입력 신호이다. 입력 신호에 비하여 도파로를 투과한 신호가 시간 축에서 매우 길어지는 것을 확인할 수 있으며, 이는 광밴드갭 효과와 도파 모드의 분산 때문이다. 단일 모드만 고려하여 계산한 계산값과 측정값이 매우 잘 일치함을 볼 수 있다.

광밴드갭에 의하여 0 ~ 3 THz 영역에서 THz 펄스는 5개의 pass band를 갖게 되는데 각각의 밴드는 0.38 ~ 0.56 THz, 0.78~1.2 THz, 1.34 ~ 1.80 THz, 1.92 ~ 2.41 THz, 그리고 2.51 ~ 3.0 THz, 이다. 공기유도 PCW 안에 도파 모드의 유효 유전율은 1보다 작게 측정되었으며 공기유도 PCW의 손실은 전체적으로 0.1cm^{-1} 보다 작게 측정되었다.

THz-TDS 기술을 이용하여 공기유도 광결정 도파로의 광밴드갭 특성을 확인하였다. 이러한 광결정 도파로는 THz파 영역에서 여러 가지 소자에 응용될 수 있을 것으로 기대된다. .

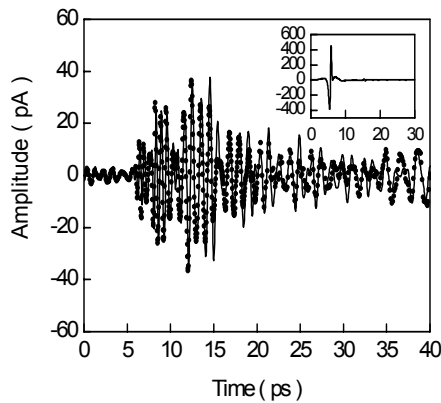


그림 3 1cm 공기유도 PCW를 통과한 후 측정된 THz 신호(점선), 계산된 THz 신호(실선). 삽입 그림은 입력신호

참고 문헌

[1] R. F. Cregan et al, "Single-Mode Photonic Band Gap Guidance of of Light in Air", Science, vol. 285, pp. 1537-1539, 1999
 [2] H. Han et al, "THz pulse Propagation in Plastic Photonic Crystal Fibers", Appl. Phys. Letter., vol. 80, pp. 2634-2636, 2002
 [3] A. Yariv, et al, "Opical Waves in Crystals", John Wiley & Sons, Inc., NY, Chapter 6, 1984