

## 테라헤르츠용 공기유도 광결정 도파로

조민수\*, 박홍규, 한연호, 한해욱  
포항공과대학교 나노테라포토닉스 연구실

### Air-guiding photonic crystal waveguides for terahertz radiation

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

#### Abstract

Air-guided single-mode propagation of THz radiation in a photonic crystal waveguide (PCW) has been experimentally demonstrated for the first time. The PCW has been fabricated by introducing an air defect at the center of an air/Si 1D photonic crystal. By using a THz time-domain spectroscopic technique, we have experimentally shown that the guiding mechanism of the air-guiding PCW is the photonic bandgap effect.

#### I. 서론

최근 전세계적으로 광결정 도파로(photonic crystal waveguide, PCW)에 대한 연구가 많은 주목을 받고 있다. PCW는 광결정에 인위적으로 결함을 도입할 때 결함주위에서 빛이 속박되는 성질을 이용한다. 특히 광결정 섬유(photonic crystal fiber, PCF)는 기존의 광섬유와는 달리 밴드갭 효과를 이용할 수 있어 높은 유전율 결함에 서뿐만 아니라 공기와 같은 낮은 유전율 결함에서도 빛을 속박할 수 있다. 이러한 PCF는 이미 가시광선과 광통신용 장파장 대역에서 보고된 바 있으며, 테라헤르츠(THz) 대역에서도 전송실험이 수행된 바 있다.<sup>[1]</sup>

유전율이 낮은 공기 결함을 가진 공기유도(air guiding) PCW는 기존의 도파로에 비하여 낮은 손실을

가지고 있는 것으로 보고 되고 있다.<sup>[2]</sup> 따라서 저손실 도파로가 거의 개발되어 있지 않은 THz 광공학 분야에서 응용 가능성이 매우 높을 것으로 전망되고 있다. 본 논문에서는 공기유도 PCW를 제작하여 THz 영역에서 효과적으로 동작하는 것을 보였다.

#### II. 실험

그림 1에서처럼 1차원 광결정은 공기/실리콘 층을 한 쌍으로 4개 주기로 제작되었다. 공기와 실리콘 층의 두께는 각각 76  $\mu\text{m}$ 와 76  $\mu\text{m}$ 이다. 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 후 이들 사이를 420  $\mu\text{m}$  거리는 두어 공기 결함을 만들어서 공기유도 PCW를 제작하였다. 사용되는 high resistivity Si는 THz 대역에서 그 손실이 매우 작은 물질이다.

도파로 측정에 사용되는 일반적인 THz 파 측정 장비를<sup>[3]</sup> 이용하여 제작된 PCW를 측정하였다. THz 펄스는 (111) SI(semi insulate)-GaAs 기판을 사용하여 광정류 방식으로 발생시켰다. 발생된 THz 펄스는 LTG(low

temperature growing)-GaAs 기판 위에 광전도 안테나를 제작하여 측정하였다. hyperhemicylindrical silicon lens 를 이용하여 THz beam 과 도파로 사이의 결합효율 (coupling efficiency)을 높였다.

### III. 실험 결과

그림 2 는 제작된 1 차원 광결정의 반사율을 THz time-domain spectroscopy (THz-TDS)를 이용하여 측정된 결과이다. 4 개의 주기만 가지고도 1 에 가까운 반사율을 얻었다. 그림 2 에 나타난 바와 같이 측정된 반사율과 transfer matrix method (TMM)를 이용하여 계산한 반사율 과 매우 잘 일치함을 볼 수 있다. 공기유도 PCW 의 속 박 모드와 밴드구조 역시 TMM 을 이용하여 계산하였다.

그림 3 에서 점선은 1 cm 길이의 공기유도 PCW 를 통과한 후에 측정된 신호이고, 실선은 계산된 신호이며, 삽입 그림은 공기유도 PCW 를 제거한 후에 측정된 입력 신호이다. 입력된 신호에 비하여 도파로를 통과한 신호가 시간 축에서 매우 길어지는 것을 확인할 수 있으며, 이는 광밴드갭 효과와 도파 모드의 분산 때문이다.

또한, 광밴드갭에 의하여 0 ~ 3 THz 영역에서 THz 펄스는 5 개의 pass band 를 갖게 된다. 공기유도 PCW 안에 도파 모드의 유효 유전율은 1 보다 작게 측정되었 으며 공기유도 PCW 의 손실은 전체적으로 0.1 cm<sup>-1</sup>보다 작게 측정되었다.

### IV. 결론

본 THz time-domain spectroscopy 기술을 이용하여 공기유도 광결정 도파로의 광밴드갭 특성을 확인하였다. 이러한 광결정 도파로는 THz 파 영역에서 여러 가지 소 자에 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 참고문헌

[1] H. Han et al, "THz pulse Propagation in Plastic Photonic Crystal Fibers", Appl. Phys. Letter., vol. 80, pp. 2634-2636, 2002.  
 [2] S.-Y. Lin et al, "Experimental Demonstration of Guiding and Bending of Electromagnetic Waves in Photonic

Crystal", Science, vol. 283, pp. 274-276 (1998).

[3] A. Yariv, et al, "Optical Waves in Crystals", John Wiley & Sons, Inc., NY, Chapter 6, 1984.



그림 1. 제작된 1 차원 광결정

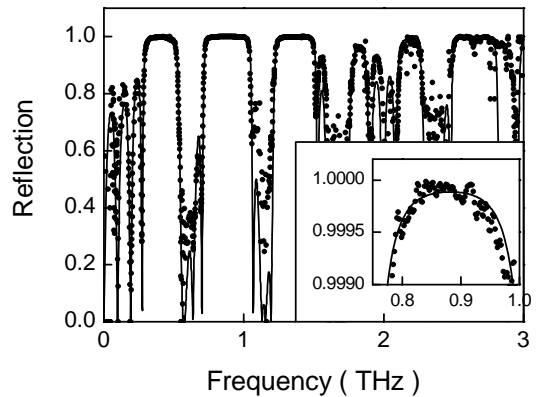


그림 2. 1 차원 광결정의 측정된 반사율 (점선) 과 계산된 반사율 (실선)

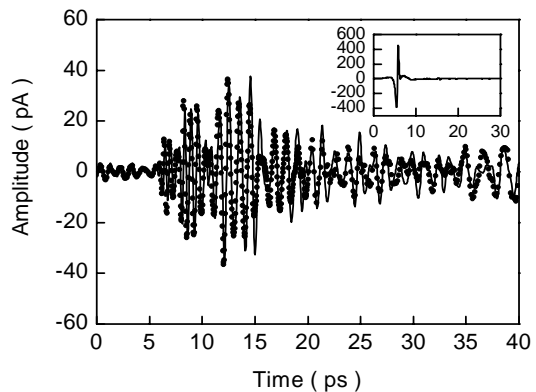


그림 3. 공기유도 PCW 를 통과한 후 측정 신호 (점선)과 계산된 반사율 (실선), 삽입 그림은 입력신호임