광자 크리스탈의 채널 드롭 터널링의 해석 및 파장분할 소자에의 응용 가능성

Analysis of Channel Drop Tunneling in Photonic Crystals with Possible Applications in Wavelength Demultiplexers

윤지수*, 정교방
홍익대학교 전파통신공학과
hongcow75@hanmail.net

최근 들어 광자 크리스탈을 이용하여 Wavelength Division Multiplexing (WDM) 통신 시스템에서 필수적인 Demultiplexer의 구현에 대한 연구가 활발히 진행 중이다.[1-3] 비정상적 광분산 현상[1]을 이용하거나 단일 디펙트[2]를 이용한 방법이 있으나 본 논문에서는 광자 크리스탈의 채널 드롭 터널링 현상[3]을 이용하여 Demultiplexer 구현의 가능성을 고찰하였다. 채널 드롭 현상은 두 개의 1차원 연속체 사이의 공진기 시스템 같은 결합 요소를 통해 발생한다. 본 연구에서는 두 개의 1차원 연속체로 광자 크리스탈 도파로를 사용하였으며 두 개의 마이크로 캐버티를 통해 공진기 시스템을 구성하였고, Finite-Difference Time-Domain (FDTD)방법과 perfectly matched layer (PML) 흡수 경계 조건을 적용하여 채널 드롭 현상을 분석하였다. 먼저 정사각형 격자 구조 위에 유전체 원형봉이 공기 중에 배열되어 있는 광자 크리스탈에서 원형봉을 제거하여 두 개의 광자 크리스탈 도파로를 구성하였다. 원형봉의 반지름은 $0.18a$ 이고 (a는 격자상수) 유전율은 $11.56\,\varepsilon_0$이다. 그리고 그림 1과 같이 두 도파로 사이에 있는 두 개의 원형봉의 반지름을 줄여서 캐버티를 형성하였다. total-field/scattered-field formulation을 이용하여 sinusoidal wave 입사파를 하나의 도파로에만 주입하고 Observation points (A, B, C, D)에서 전계의 변화를 관찰하였다(그림 1). 계산 결과로부터 $\omega = 0.36\times 2\pi c/a$ 에서 $\omega = 0.38\times 2\pi c/a$ 까지의 주파수 대역에서 각 주파수에 따른 채널 드롭 전송 효율을 그림 2에 표시하였다. 입사파의 주파수가 $\omega = 0.371\times 2\pi c/a$ 일 때 정상 상태 도달 후 채널 드롭 전송 효율이 92% 임을 확인하였으며, 그 때의 Observation points에서 관찰한 전계의 변화를 그림 3에 나타내었다. 그림 4에는 같은 주파수일 때의 정상 상태 전계의 분포가 그려져 있다.

본 연구에서는 광자 크리스탈로 구성된 Wavelength Demultiplexer의 구현 가능성의 검토를 위하여 채널 드롭 현상에 대해 고찰하였으며, 향후 다른 공진 주파수를 갖는 채널 드롭 터널링 구조를 연구하여 1×2 Demultiplexer를 구성할 예정이다.(그림 5의 개략도 참조)

본 연구는 차세대 포토닉스 사업단과 차세대 광-무선가입자망 연구센타에 의해 지원되었음.

참고문헌

1. 홍수완, 정교방, "광자 크리스탈의 비정상적 광분산 현상을 이용한 파장분할 소자의 연구," Photonics Conference 2001, T3C4, 155-156 (2001).
2. S. Noda, A. Chutinan, and M. Imada, "Trapping and emission of photons by a single defect in a photonic

bandgap structure," Nature, **407**, 608-610 (2000).
3. S. Fan, P. R. Villeneuve, J. D. Joannopoulos, and H. A. Haus, "Channel drop tunneling through localized states," Phys. Rev. Lett., **80**, 960-963 (1998).

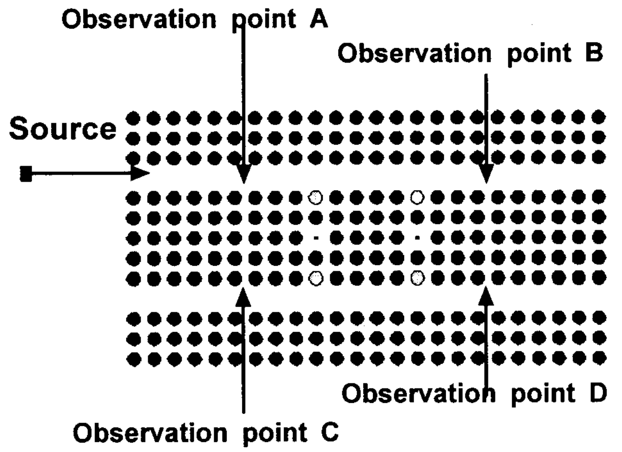

그림 1. 두 개의 도파로와 두 개의 캐버티로 구성된 광자 크리스탈 구조. 회색 원형봉의 유전율은 9.5 ε_0 이며 작은 원형봉의 유전율은 6.6 ε_0이고 반지름은 $0.05a$ 이다.

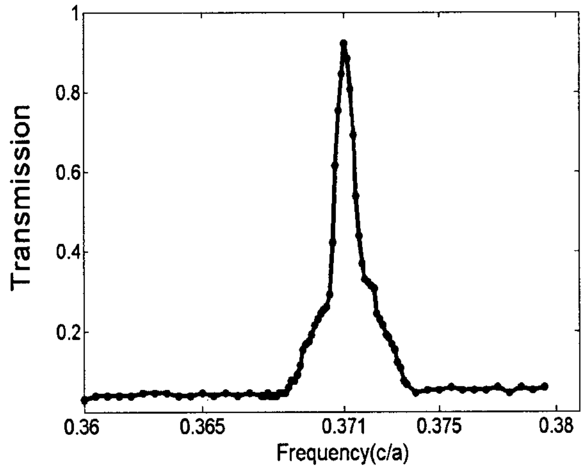

그림 2. 주파수에 따른 채널 드롭 전송 효율. (Observation point A와 D에서 관찰한 전계를 비교)

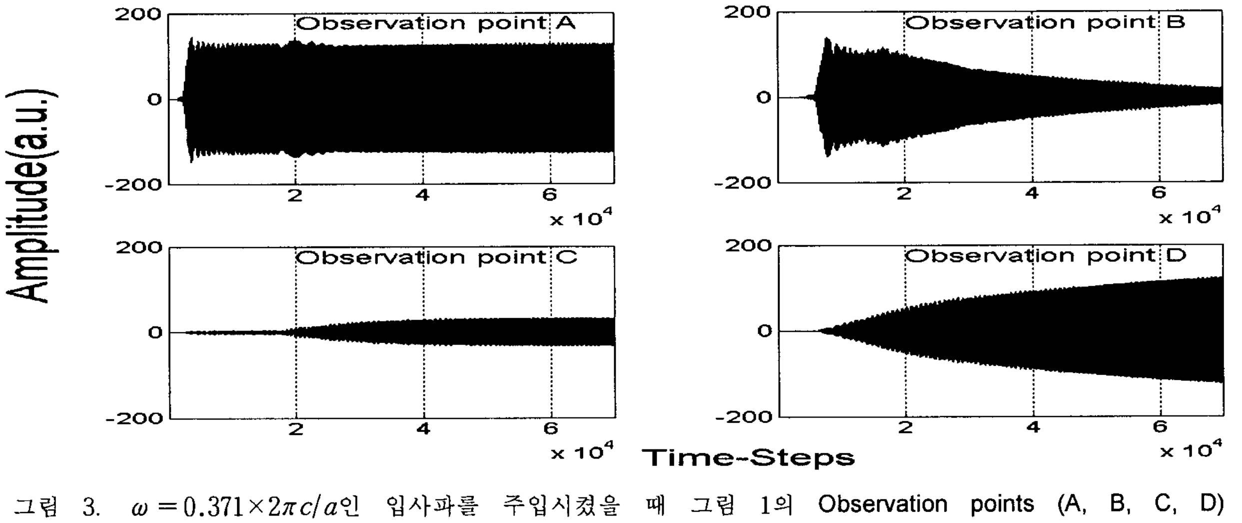

그림 3. $\omega = 0.371 \times 2\pi c/a$인 입사파를 주입시켰을 때 그림 1의 Observation points (A, B, C, D)에서 시간에 따른 전계의 변화.

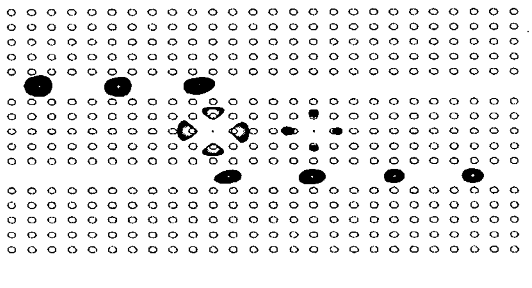

그림 4. $\omega = 0.371 \times 2\pi c/a$인 입사파를 주입시켰을 때 그림 1의 구조에서 관찰한 전계의 공간 분포.

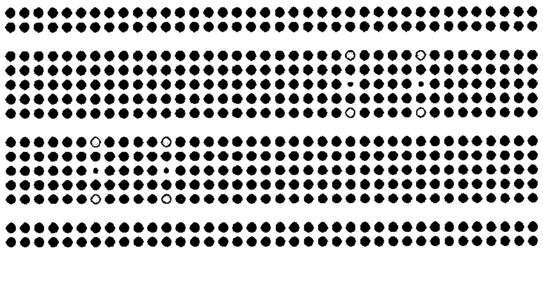

그림 5. 1×2 Demultiplexer의 개략도.