

## 점 결함을 이용한 광자결정 트리플렉서의 설계

### Design of Triplexer based on Photonic Crystal Structure with Point Defects

박대서, 김재현, 오범환, 박세근, 이일항, 이승걸\*  
 인하대학교 집적형 광자기술 연구센터(OPERA)  
[soglee@inha.ac.kr](mailto:soglee@inha.ac.kr)

본 연구에서는 광자결정(Photonic Crystal)의 필터 특성을 이용하여 파장 분할 다중화(Wavelength Division Multiplexing: WDM) 방식의 광통신에서 핵심적인 역할을 수행하는 1.31/1.49/1.55 $\mu\text{m}$  트리플렉서를 설계하였다. 본 연구에서 이용된 광자결정 필터는 점 결함(Point Defect) 방식으로 구현되었다. 광자결정에서 점 결함은 두 가지 방식을 통해 구현될 수 있는데 첫 번째 방식은 광자결정의 크기를 변화시키는 것이고, 두 번째 방식은 광자결정의 굴절률을 변화시키는 것이다. 평면파 전개(Plane Wave Expansion)법과 유한차분 시간영역(Finite Difference Time Domain)법을 이용하여 광자결정의 특성을 분석하고, 최적화를 수행하였다. 최적의 조건에서 설계된 트리플렉서는 3가지 파장에 대하여 약 -19dB의 소멸비(Extinction Ratio) 특성을 보여주었다.

광자결정에서 밴드갭이 큰 구조는 국부적인 결함을 가함으로써 다양한 효과를 볼 수 있다. 반지름이 격자상수( $a$ )의 0.18배인 Si-rod가 사각 격자 구조로 배열된 광자결정을 이용하였고, Si-rod의 굴절률은 3.4이다. 평면파 전개법을 이용하여 E-편광된 전자기파(즉, E-field와 Si-rod가 평행)에 대해 밴드갭이 0.3056-0.4439( $a/\lambda_0$ )의 주파수 범위에서 형성됨을 확인하였다. 동작 주파수는 0.38160( $a/\lambda_0$ ), 0.33557( $a/\lambda_0$ ), 그리고 0.32258( $a/\lambda_0$ )로 정하였다. 이는 격자상수  $a$ 가 500nm일 때 각각 1.31 $\mu\text{m}$ , 1.49 $\mu\text{m}$ , 그리고 1.55 $\mu\text{m}$ 에 해당한다.

광자결정 필터를 이용하여 각 동작 주파수에 대하여 공진 조건을 형성하는 점 결함 특성을 분석하였다. 기본적인 광자결정 필터의 구조는 그림 1(left)과 같다. 광자결정에 1열을 제거함으로써 0.318-0.442( $a/\lambda_0$ )의 구간에서 단일모드로 동작하는 도파로를 형성하였고, 가운데 부분에 3개의 Si-rod를 제거하지 않고 남겨 두었다. 3개의 Si-rod 중 가운데 부분에 위치한 rod(Point Defect)의 굴절률을 1.0부터 2.6(Si-rod의 굴절률이 1.0인 경우는 Si-rod를 제거한 경우를 의미함)까지 일정하게 증가시키면 각각의 경우에 해당하는 공진모드의 주파수는 그림 1(right)과 같은 경향을 보인다. 이로부터 트리플렉서에서 사용하는 세 파장이 공진을 일으키는 Si-rod의 굴절률을 결정할 수 있다. 결정된 Si-rod의 굴절률은 1.31 $\mu\text{m}$ , 1.49 $\mu\text{m}$ , 그리고 1.55 $\mu\text{m}$ 에 대해 각각 1.15, 2.18, 그리고 2.36이다.

유한차분 시간영역법을 이용하여 제안된 트리플렉서의 성능을 분석하고 최적화를 수행하였다. 앞서 결정된 Si-rod 점 결함 굴절률 정보를 이용하여 그림 2와 같은 구조로 트리플렉서를 설계하였다. 그러나 그림 2와 같이 설계된 트리플렉서는 각 파장에 대해 그림 1(left)과 같은 대칭구조가 아니고, point defect의 주변 구조가 변경되었다는 문제점이 있다. 이는 공진을 일으키는 Si-rod의 굴절률이 바뀔 수 있음을 의미한다. 그러나 그림 1의 데이터를 기반으로 하여 제안된 트리플렉서 구조에 대해 공진을 일으키는 Si-rod의 굴절률을 쉽게 찾을 수 있다. 새로이 결정된 Si-rod의 굴절률은 1.31 $\mu\text{m}$ , 1.49 $\mu\text{m}$ , 그리고 1.55 $\mu\text{m}$ 에 대해 각각 1.15, 2.15, 그리고 2.38이다.

그림 2는 트리플렉서에서 사용하는 세 가지 파장에 대한 유한차분 시간영역법을 통하여 구한 전기장 분포이

다. 그림 2에 보여진바와 같이 Si-rod의 굴절률 차이를 이용하여 세 가지 파장이 잘 분리되고 있음을 확인할 수 있다. 설계된 트리플렉서의 성능은 소멸비를 이용하여 평가할 수 있다. 여기서 소멸비란 특정 파장에 대하여 원하는 출력부로 출력되는 빛의 파워와 그렇지 않은 출력부로 출력되는 빛의 파워비로 정의된다. 따라서 소멸비가 작을수록 소자의 성능은 좋다고 판단할 수 있다. 최적의 구조에서 제안된 트리플렉서는 약 -19dB의 소멸비 특성을 보여주었다.

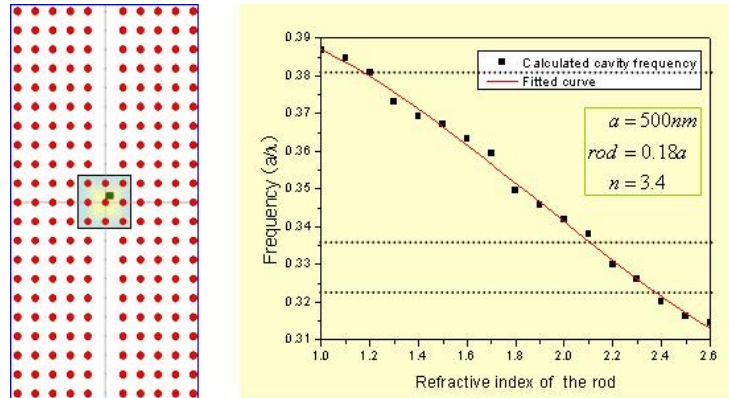


Fig. 1 Photonic crystal filter(left) and resonant-mode frequency with index-tuned point defect(right).

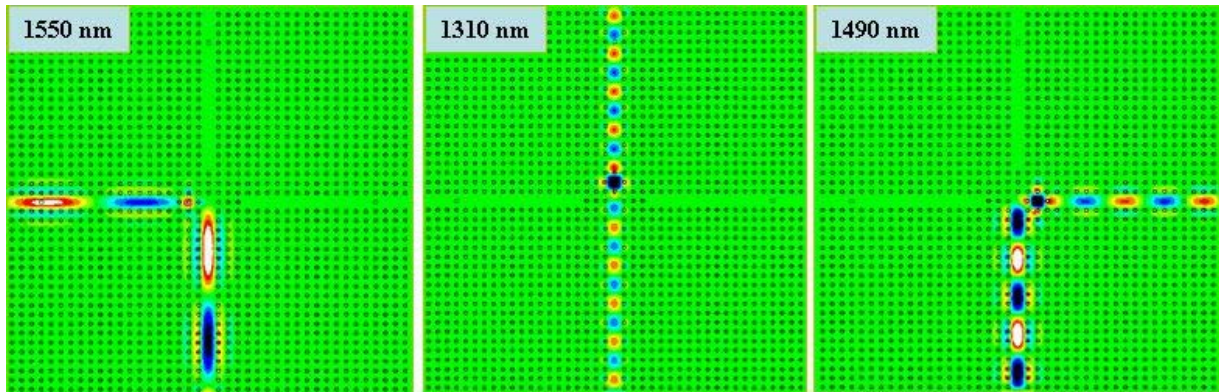


Fig. 2 Electric field distributions for the wavelength of 1.55um, 1.31um, and 1.49um, respectively.

**감사의 글**

본 연구는 과학재단 우수 연구센터 사업인 집적형 광자기술 연구센터(R11-2003-022)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

**참고문헌**

1. Shanhui Fan, Pierre R. Villeneuve, J. D. Joannopoulos, and H. A. Haus "Channel Drop Tunneling through Localized States," PHYSICAL REVIEW LETTERS, Vol. 80, No. 5, pp. 960-963 (1998).
2. Hitomichi Takano, Bong-Shik Song, Takashi Asano, and Susumu Noda, "Highly efficient multi-channel drop filter in a two-dimensional hetero photonic crystal," OPTICS EXPRESS, Vol. 14, No. 8, pp. 3491-3496 (2006).