

도파로 렌즈를 이용한 광결정 도파로의 광결합 효율성 개선

High-efficiency coupling technique for photonic crystal waveguides using a waveguide lens

채우림, 김현준, 이승걸, 오범환, 박세근, 이일함

Micro Photonics Advanced Research Center

인하대학교 정보통신공학부

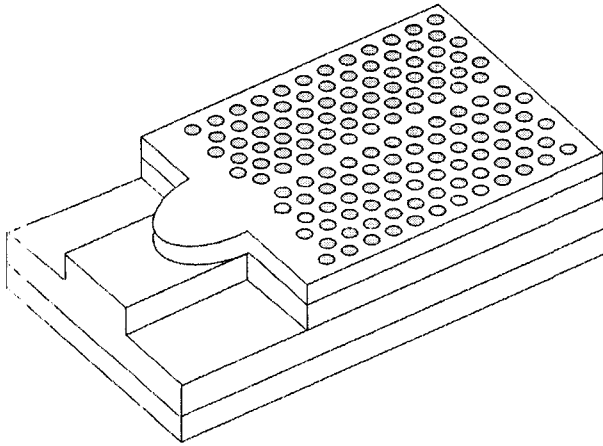
ehlee@inha.ac.kr

집적 광학(Integrated Optics) 소자에서 기존 광도파로와 광결정 도파로 간의 효율적 결합 및 접속의 안정성은 매우 중요한 과제이다. 기존의 단일모드 광도파로의 폭은 수 μm 정도임에 비하여, 광 결정을 이용한 단일 결합 도파로인 경우 그 폭은 보통 $1 \mu m$ 이하이다. 또한 광결정 도파로의 광 가둠 효과가 우수하여 기존 도파로와의 결합 사이에 모드 부정합 현상이 발생하며, 이것은 광결정 도파로의 광결합 효율은 낮게 하는 요인이 된다.

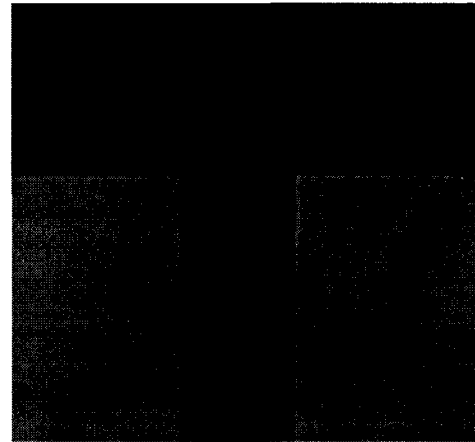
본 논문에서는 광결정 도파로의 효율적인 광결합을 위하여 도파로 렌즈를 이용하였다. 도파로 렌즈는 그림 1과 같이 타원형 구조이며 기존 도파로를 통해 도파된 평면파가 도파로 렌즈의 곡면에서 굴절되어 타원의 초점으로 집속된다. 도파로 렌즈의 초점 거리는 타원의 장축과 단축의 길이에 의해 결정되며, 타원의 단축 $2b$ 는 기존 도파로의 폭인 $1.6 \mu m$ 와 동일하다. 이에 따라 타원의 장축과 초점 거리는 각각 $2a = 4.216 \mu m$, $f = 4.0584 \mu m$ 이다. 본 논문에서 사용된 광결정은 SOI (Silicon On Insulator) 평판에 공기 기둥이 삼각형 구조로 배열된 구조이며, 광결정 도파로의 입구는 도파로 렌즈의 초점 부근에 위치한다. 광결정에서 원기둥 간 거리인 격자 상수와 원기둥의 반지름은 각각 $a = 0.25 \mu m$, $r = 0.075 \mu m$ 이며 주파수 영역 $a/\lambda = 0.211 - 0.282$ 영역에서 TM 모드 밴드갭을 갖는다⁽¹⁾. 광결정에 사용된 물질의 유효 굴절률은 $n_{eff} = 3.342$ 이고 ΓK 방향으로 단일 결합을 만들면 두 개의 모드를 지원하는 광결정 도파로로 사용할 수 있다.⁽²⁾

본 논문에 사용한 ridge형 도파로는 폭이 $1.6 \mu m$ 이며 코어의 유효 굴절률은 $n = 3.092$ 이다.

그림 1의 3차원 구조는 유효 굴절율법 (Effective Index Method)을 이용하여 그림 2와 같이 2차원으로 근사하였으며, 이 구조를 해석하기 위한 수치 해석적 방법으로 2차원 유한 차분 시간 영역법 (FDTD, Finite Difference Time Domain)을 사용하였다.

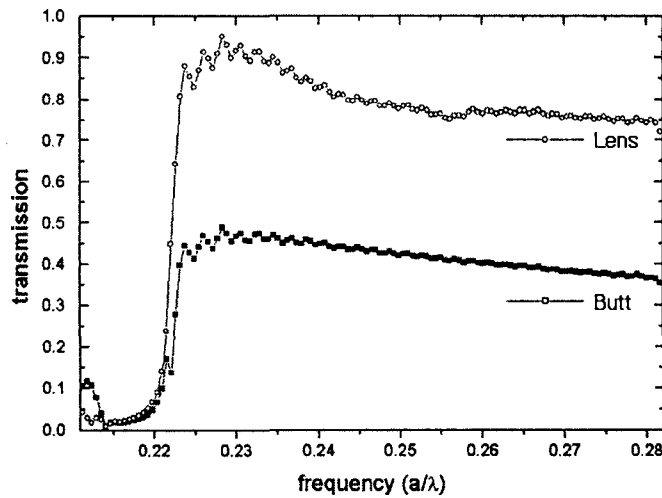


[그림 1] 도파로 렌즈와 광결정 도파로의 3차원 구조



[그림 2] 유효 굴절률 법을 이용하여 2차원으로 근사한 구조

광결정 도파로의 출력단에서 측정된 투과 효율은 출력광을 푸리에 변환한 후 입력광에 대해서 정규화시켰다. 또한 비교를 위해 도파로 렌즈를 사용하지 않고 도파로에서 광결정 도파로로 직접 입사한 경우의 투과 효율을 계산하였다.



[그림 3] 도파로 렌즈를 사용했을 때와 직접 입사했을 경우 광결정 도파로의 투과 효율 비교

그림 3과 같이 광결정의 밴드갭 주파수 범위에 걸쳐 투과 효율 평균은 약 82%이고 부분적으로 90% 이상의 효율을 보인다. 이는 도파로 렌즈를 사용하지 않고 직접 입사 시킨 경우보다 약 2배 정도 향상된 결과이다. 이와 같은 결과로부터 도파로 렌즈를 사용하여 광결정 도파로의 광결합 효율을 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

[참고 문헌]

1. T. D. Happ et al., "Photonic crystal tapers for ultracompact mode conversion," OPTICS LETTERS, 26, 1102 (2001).
2. A. Adibi, R. K. Lee, Y. Xu, A. Yariv, and A. Scherer, "Design of photonic crystal optical waveguides with single mode propagation in the photonic bandgap", Electron. Lett. 36, 1376 (2000).