

이차원 삼각형 격자 광결정 슬랩에서 동작하는 공진 tunneling을 이용한 방향성 필터

Directional filter using resonant tunneling in two-dimensional triangular lattice photonic crystal slabs

권순홍, 김국현, 이용희, Martin T. Hill*

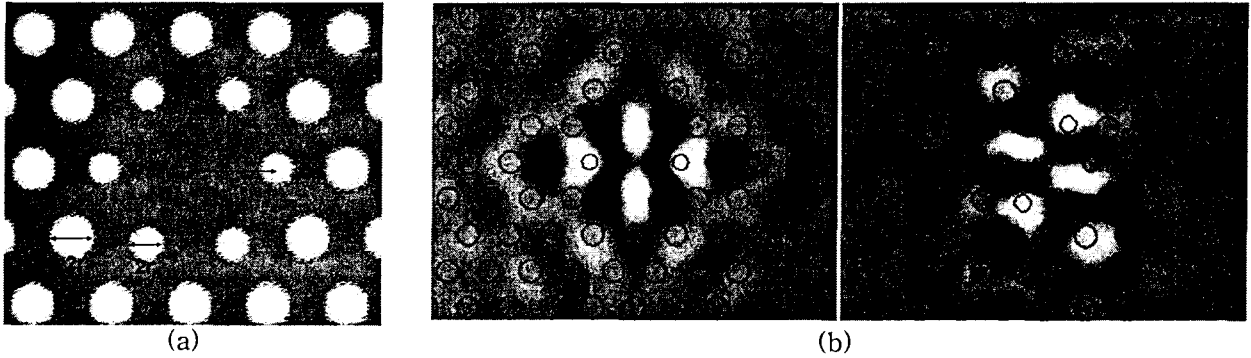
한국과학기술원 물리학과,

*CORBA Research Institute, Technische Universiteit Eindhoven, The Netherlands

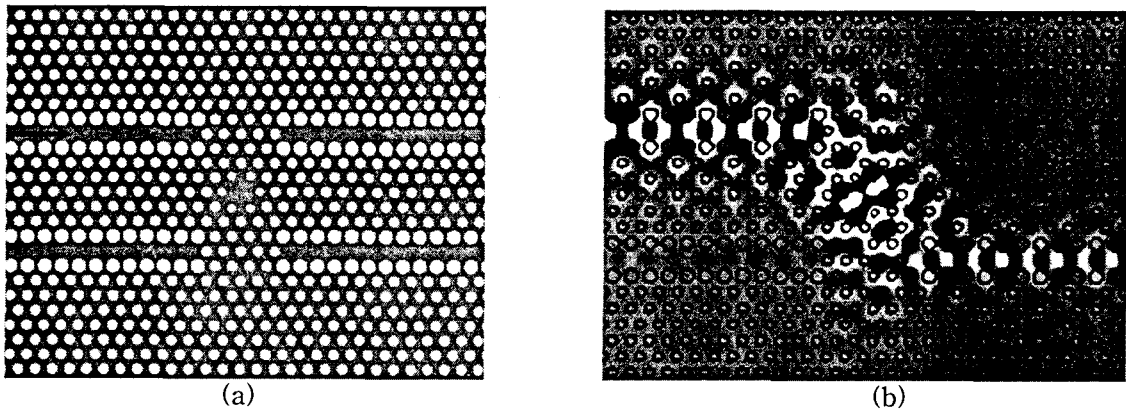
ksunong@kaist.ac.kr

2차원 광결정(photonic crystal) 슬랩은 빛의 반파장 정도의 두께를 가진 슬랩에 2차원의 주기적인 굴절율의 변화가 있는 유전체 구조로, 수직 방향으로는 전반사에 의해, 수평방향으로는 광밴드갭(photonic bandgap)을 이용하여 빛을 가두게 된다. 이러한 2차원 광결정 슬랩을 이용하면 파장 정도 크기의 손실이 없는 광도파로를 제작할 수 있어서 다양한 형태의 device가 결합된 광회로를 구성할 수 있을 것으로 예상된다. 특히 광결정 공진기의 높은 품질값을 이용하여 특정 파장의 빛만 뽑아내는 channel drop filter(CDF)나, 특정 파장의 빛만 투과시키는 filter가 많이 제안되었다⁽¹⁻⁴⁾. 이중 지금까지 보고된 resonant tunneling을 이용한 CDF는 2차원 구조에서 제안되거나, 두 개의 공진기를 사용한 구조에서 연구되었다^(1,2). 여기서 우리는 삼각형 격자 광결정 슬랩의 단일결합 공진기에 존재하는 두 개의 축퇴된 quadrupole 모드를 사용하여, 공진파장에 해당하는 빛이 방향성을 가지고 투과하는 필터의 동작을 3차원 유한 미분 시간영역 계산법(finite-difference time-domain(FDTD) method)으로 조사했다.

광도파로와 광결정 공진기를 결합할 때 coupling 효율을 높이면서 비교적 높은 Q값을 유지하기 위해서 먼저 공진 모드의 품질값이 커야한다. 계산에 이용된 구조는 [그림 1(a)]와 같이 단일결합 공진기를 변형시켜 가장 가까운 6개의 공기구멍의 반지름을 $0.18a$ (a 는 격자상수)로 줄이고 바깥으로 살짝 밀고, 바깥에 둘러싼 공기구멍은 $0.25a$ 로 두었다. 그리고 슬랩 두께는 $0.5a$ 이다. 이러한 조건에서 축퇴된 quadrupole모드의 품질값은 260,000으로 상당히 큰 값을 보였다. 그리고 두 개의 축퇴된 quadrupole 모드는 [그림 1(b)]에서처럼 광도파로에 평행한 방향과 수직 방향에 대해 다른 mirror symmetry를 가지고 있어서 두 모드를 동시에 coupling했을 때, 특정방향의 광도파로에 대해서는 전기장이 서로 상쇄되어 방출되지 않을 것으로 보인다⁽¹⁾. 제안된 필터는 [그림 2(a)]에서와 같이 4개의 떨어져 있는 한 줄의 공기구멍을 메운 광도파로와 [그림 1]의 변형된 단일결합 공진기가 결합된 구조이다. 여기서 광도파로 주위의 공기구멍의 크기를 크게 한 것은 공진기의 quadrupole 모드와 광도파로의 단일모드 영역을 일치시키기 위해서이다. 이러한 필터에서 공진 모드에 해당하는 파장의 빛을 한쪽 광도파로에 넣어주면, [그림 2(b)]와 같이, 축퇴된 두 모드에 빛이 coupling되어 오른쪽 아래쪽의 광도파로로 대부분 나오게 된다. 이때, 두 축퇴된 공진 모드에 의해 다른 두 개의 광도파로로 방출되는 빛은 서로 상쇄간섭을 하게 되어 방출이 제한된다. 이와 같은 필터는 광도파로가 서로 교차하는 곳에 이용하여 cross-talk을 줄인 광교차로로 이용할 수 있을 것이다. 본 발표에서는 공진기와 도파로 사이의 간격, 공진기의 구조, 도파로의 형태 등을 바꾸어 가며 높은 효율과 높은 품질값을 가지는 방향성 필터를 보고한다.



[그림 1] (a) 변형된 단일결합 공진기. 결함 주위의 6개의 공기구멍의 반지름은 $r_n(0.18a)$ 으로 줄였고 공진기 중심에서 $c_n(1.1a)$ 되는 곳으로 바깥쪽으로 밀었다. 그 밖을 둘러싸고 있는 공기구멍의 반지름 r 은 $0.25a$ 로 두었다. (b) 두 축퇴된 quadrupole 모드의 모양. 검은색과 흰색은 서로 반대의 위상을 나타낸다.



[그림 2] (a) 계산에 이용된 필터 구조. 광도파로 주위의 공기구멍의 크기는 $0.35a$ 이고 밖의 공기구멍의 크기는 $0.25a$, 공진기의 형태는 위와 같다. 4개의 도파로 중 왼쪽위에서 화살표 방향으로 빛을 넣는다. (b) 들어오는 빛의 파장과 공진모드의 파장이 일치할 때 자기장(z -방향)의 분포.

[참고 문헌]

1. S. Fan, P. R. Villeneuve, J. D. Joannopoulos, M. J. Khan, C. Manolatu, and H. A. Haus, "Theoretical analysis of channel drop tunneling processes", Phys. Rev. B 59, 15882-15892 (1999) .
2. Bok-Ki Min, Jae-Eun Kim, Hae-Yong Park, "Channel drop filters using resonant tunneling processes in two-dimensional triangular lattice photonic crystal slabs", Opt. Commun 237, 59-63 (2004).
3. 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).
4. G. H. Kim, Y. H. Lee, A. Shinya, M. Notomi, "Coupling of small, low-loss hexapole mode with photonic crystal slab waveguide mode", Opt. Express (to be published)

T
P