

삼각형 광결정 도파로 교차점에서 신호교차의 제거

Elimination of Cross-Talk in Triangular Photonic Crystal Waveguide Intersections

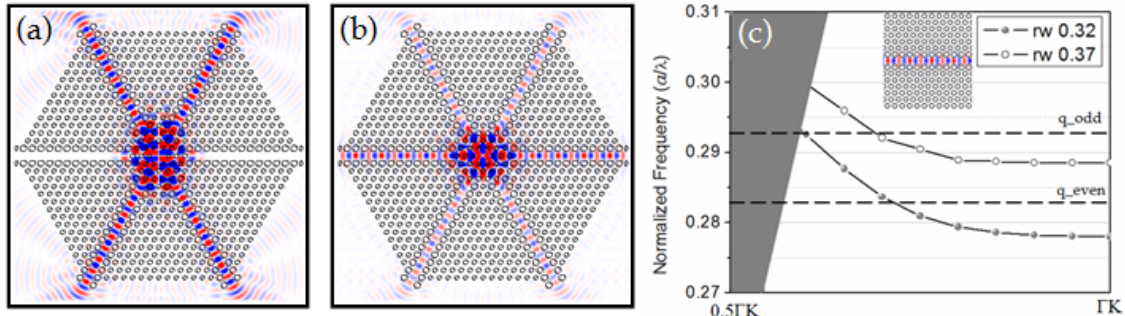
권순홍, 김주영, 이용희
한국과학기술원 물리학과,
ksunong@kaist.ac.kr

전자회로의 도선 크기가 물리적 한계에 가까워짐에 따라 보다 빠르고 대량의 신호처리를 할 수 있는 광회로에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 광결정은 특정 파장영역의 빛을 투과시키지 않는 광밴드갭을 가지고 있어서 파장크기의 다양한 동작특성을 가지는 광도파로 및 광공진기를 만들 수 있어서 광회로의 기반이 될 것으로 예상된다. 여기서 광결정이란 유전체 물질에 공기구멍을 주기적으로 뚫거나 다른 굴절율을 가진 유전체를 규칙적으로 배열한 물질로 일반적인 물질에서 원자의 주기적인 배열에 의해 에너지 밴드갭이 형성되는 것처럼 광밴드갭을 가지게 된다. 한편 많은 양의 정보처리를 위해 다수의 광도파로와 결합한 광소자들을 보다 작은 면적에 집적하기 위해서는 광도파로를 교차시킬 수 있어야 한다. 그러나 일반적으로 광도파로가 교차하는 경우 한쪽 광도파로를 통해 들어온 빛은 원래 가던 방향 외에 교차된 도파로 쪽으로도 진행하게 된다. 이는 광회로의 신호처리에 있어서 불필요한 잡음이나 광소자들의 오동작을 발생시키게 되므로 광도파로 교차점에서 신호교차 없이 빛을 통과시킬 수 있는 구조가 필요하다. S.Johnson은 광도파로 교차점에서 신호교차를 줄이기 위해서 광도파로 모드와 교차점 공진 모드의 대칭성을 이용한 구조를 제안한 바 있다⁽¹⁾. 그러나 그 방법은 사각형 구조에만 적용시킬 수 있고 광밴드갭이 넓어서 일반적으로 많이 이용되는 삼각형 격자 광결정 구조에는 적용시킬 수 없다. 이 발표를 통해 우리는 삼각형 격자 단일세포 광결정 공진기에 존재하는 두 개의 사중극자 모드의 광도파로에 대한 대칭성과 구멍크기가 다른 두 개의 광도파로에 모드갭에 존재함을 이용하여 교차점에서 신호교차가 매우 작은 구조를 제안한다. 제안된 구조는 3차원 유한미분 시간영역 계산법(finite-difference time-domain(FDTD))을 통해 동작이 확인되었다.

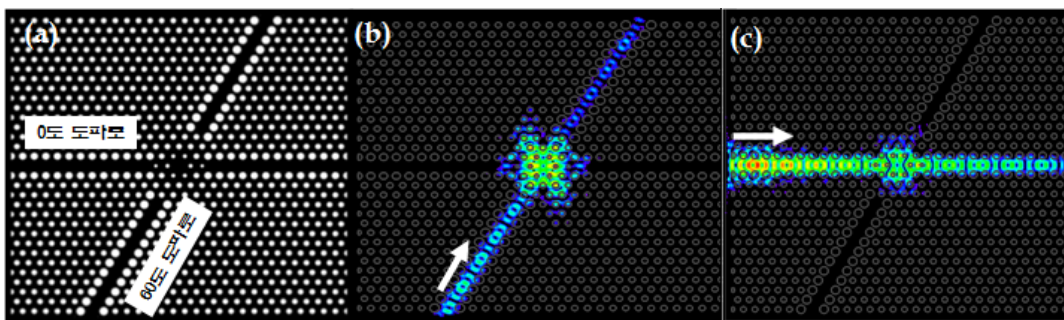
먼저 두 개의 사중극자 모드와 광도파로간의 결합을 살펴보자. 단일세포 광결정 공진기는 굴절율이 3.4인 물질로 이루어진 두께 $0.5a$ (a 는 공기구멍 간의 간격)인 슬랩에 공기구멍을 삼각형 격자로 뚫고 그중 하나의 공기구멍을 메워서 만들어진다. 광도파로와 높은 결합효율을 위해 먼저 모드의 품위값(Quality factor)를 높이려고 공진기 주위의 공기구멍의 크기를 $0.18a$ 로 줄이고 $0.1a$ 만큼 바깥으로 밀었다. 이 단일세포 광결정 공진기에서 존재하는 모드 중 두 개의 사중극자 모드의 품위값은 450,000으로 계산되었다. 이 광결정 공진기에 그림 1과 같이 공기구멍을 메워서 만든 ΓK 방향으로 만들어진 6개의 광도파로를 위치시키고 두 개 사중극자 모드와 광도파로의 결합특성을 관찰했다. 사중극자 모드는 수평, 수직축에 대해 odd 대칭성을 가지는 모드(그림 1.(a))와 모두 even 대칭성을 가지는 모드(그림 1.(b))가 존재하게 되는데 각 모드는 6개 광도파로의 대칭성에 따라 각 도파로와의 결합효율이 다르게 된다. 여기서 고려하는 광도파로 모드는 그림 1.(c)에 삽입된 그림에 보여지는 도파로 축에 대해 even 대칭성을 가지는 모드이다 그림 1.(a)에서 odd 사중극자 모드를 살펴보면 0도 도파로에 대해서는 odd 대칭성을 가지므로 even 광도파로 모드와 결합할 수 없다. 반면 이 모드는 60도, 120도 도파로 방향으로 even 대칭성을 가지므로 even 광도파로와 결합할 수 있으므로 odd 사중극자 모드가 존재할 때 그림 1.(a)와 같이 60, 120도 도파로 쪽으로는 빛을 투과하고 0도 도파로 쪽으로는 빛을 보내지 않는다. 한편 그림 1.(b)

에서 even 사중극자 모드를 살펴보면 이 모드는 모든 도파로에 대해 even 대칭성을 가지므로 6개의 도파로 모든 방향으로 빛을 보내는 것을 알 수 있다. 따라서, odd 사중극자 모드에 해당하는 파장의 빛을 60도 도파로 쪽에서 넣으면 0도 도파로 쪽으로는 빛이 투과하지 않고 60도 도파로 쪽으로만 전달될 것을 예상할 수 있다. 그러나 even 사중극자 모드에 해당하는 파장의 빛은 어느 도파로에서 빛이 들어와도 모든 도파로 쪽으로 빛이 동시에 보내질 것이다. 이를 막기 위해서 0도 도파로와 60도 도파로 주변의 공기구멍의 크기를 바꾸었다. 그림 2.(a)에처럼 0도 도파로의 공기구멍의 반지름은 $0.32a$, 60도 도파로의 반지름은 $0.37a$ 로 하고 even 사중극자 모드와 odd 사중극자 모드의 파장을 그림 1.(c)와 같이 조절하면 even 사중극자 모드는 모드갭으로 인해 60도 도파로로 빛을 전달할 수 없게 된다. 이를 확인하기 위해 FDTD를 통해 각 도파로에 빛을 보내 교차점에서 신호전달을 관찰했다. 그림 2.(b)와 (c)에서처럼 odd 사중극자의 파장에 해당하는 빛을 60도 도파로로 넣어주면 60도 도파로로만 진행하고 even 사중극자의 파장에 해당하는 빛을 0도 도파로로 넣어주면 0도 도파로로만 진행되는 것을 알 수 있다.

요약하면 본 연구에서는 두 개의 사중극자모드와 광도파로의 대칭성, 모드갭을 이용하여 삼각형 광결정 도파로의 교차점에서 신호의 교차를 줄인 구조를 제안하고 FDTD계산을 통해 확인했다.



[그림 1] 광결정 단일세포 공간기의 사중극자 모드와 광도파로의 결합특성을 자기장분포로 표시했다. (a) 수평, 수직축에 대해 odd 대칭성을 가지는 사중극자 모드의 결합특성 (b) even 대칭성을 가지는 사중극자 모드의 결합특성 (c) 광결정 도파로 모드의 도파로 주위 구멍 크기에 따른 분산곡선. 도파로 주위 구멍 반지름이 $0.32a$, $0.37a$ 인 분산 곡선은 각각 채워진 원과 빈 원으로 표시함. q_{odd} , q_{even} 은 odd 모드와 even 모드의 파장을 나타낸다. 삽입된 그림은 even 광도파로 모드의 모습.



[그림 2] (a) 단일세포 공간기와 광도파로가 결합된 교차점 구조 (b) odd 대칭성을 가진 사중극자 모드에 해당하는 파장의 빛을 광도파로에 넣었을 때 빛의 진행 모습 (c) even 대칭성을 가진 사중극자 모드에 해당하는 파장의 빛을 광도파로에 넣었을 때 빛의 진행 모습. 화살표는 빛을 넣어준 위치와 방향을 나타낸다.

[참고 문헌]

1. S.G.Johnson, C.Manolataou, S.Fan, P.R.Villeneuve, J.D.Joannopoulos, H.A.Haus, "Elimination of cross talk in waveguide intersections", Opt. Lett. 23, 1855-1857 (1998)