

비축퇴된 홀극 모드의 2차원 광결정 레이저

Nondegenerate Monopole Mode Two-Dimensional Photonic Band Gap Laser

박홍규*, 황정기*, 허준*, 류한열*, 김정수**, 이용희*

*한국과학기술원 물리학과, **한국전자통신연구원 원천기술본부

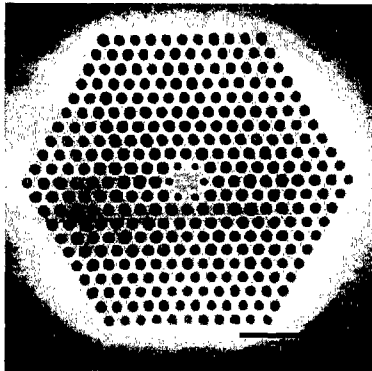
rough@kaist.ac.kr

광결정(photonic crystal)은 빛의 파장 크기 정도의 격자 상수를 지닌 주기적인 구조로서 광학적인 성질을 여러 가지로 바꿀 수 있는 장점을 지닌다.⁽¹⁾ 이 논문에서는 문턱 값이 0인 레이저⁽²⁾를 만들기 위한 방법으로 비축퇴된 홀극 모드 레이저(nondegenerate monopole mode laser)를 제안한다. 높은 Q값을 가지는 이 레이저는 상온에서 1.55 μm 의 파장에서 발진되었다.

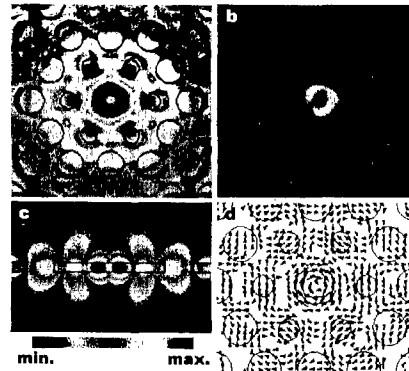
제작된 광결정 레이저는 수직 방향으로 공기로 둘러싸인 판(slab) 구조에 의한 전반사에 의해서, 그리고 평면에서는 결함(defect)을 가지는 광결정에 의한 브래그 산란으로 공진기가 형성된다. 삼각형 격자의 2차원 구조로 광결정을 제작함으로써 TE 모드의 밴드 갭이 형성된다. 보통 일반적으로 하나의 결함을 갖는 레이저는 2개로 축퇴된 쌍극 모드(dipole mode)가 밴드 갭 안에 나타난다⁽³⁾. 반면에, 결함 주위에 있는 6개의 가장 가까운 구멍들의 반경을 작게 하고 뒤로 조금 밀게 되면 다른 모드들이 밴드 갭 안으로 들어오게 된다⁽⁴⁾. 이렇게 새롭게 나타나는 모드들 중에 우리는 대칭적인 모드 모양을 갖는 홀극 모드(monopole mode)에 관심을 갖는다. 홀극 모드는 비축퇴된 모드로서, 의도적으로 비대칭적인 구조를 고려하여도 비축퇴성은 유지된다. 따라서 비축퇴된 홀극 모드에서 큰 지방 방출율을 기대할 수 있다. 또한 3차원 FDTD 계산으로 확인해 본 결과 홀극 모드는 높은 Q 값을 갖음을 알 있다. [그림 1]은 실제로 제작된 홀극 모드 레이저 구조의 전자 현미경 사진이다.

홀극 모드 레이저는 낮은 비발광 결함율을 갖는 InGaAsP 물질 계열로 만들어진다. 우리는 상온에서 광펌핑에 의한 홀극 모드 레이저 발진을 측정하였고 고유의 특이한 성질을 확인하였다. 특히 [그림 2(a)]의 3차원 FDTD 계산에서 보듯이 육각형 모양의 대칭적인 모드 모양을 실제 실험에서 확인할 수 있었다[그림 2(b)]. [그림 3]은 여러 주기와 구멍 반경을 바꾸어 가며 제작된 레이저의 주파수를 측정하여 3차원 FDTD 계산 결과와 비교한 결과를 나타낸다. 점들이 측정된 결과이고 실선은 계산 결과이다. 잘 일치하는 이 결과로서 우리는 측정된 레이저가 홀극 모드 레이저임을 확신할 수 있다. 또 하나의 결정적인 증거는 편광 특성인데, [그림 2(d)]의 전기장 방향의 계산 결과에서 보듯이 홀극 모드 레이저는 특정 편광 방향을 보이지 않음을 알 수 있고 이 역시 실험적으로 확인되었다[그림 4(a)]. [그림 4(b)]는 이 홀극 모드 레이저의 L-L 곡선이다. 펌프 레이저의 빔 크기가 대략 2.8 μm 정도일 때 문턱 값은 대략 0.5 mW 정도를 보인다. 이 문턱 값은 이제까지 발표된 결과에 비해 그리 크게 좋아진 값은 아닌데⁽⁵⁾, 이는 문턱 값을 결정짓는 비발광 결함율이 아직도 크기 때문이라 생각된다. 반면에 [그림 5]에서 보듯이 계산된 총 Q 값은 1500 이상의 높은 값을 갖는다. 총 Q 값을 결정짓는 주요 원인은 수직 방향의 Q 값이므로 이들을 분리해서 나타내었는데, 수직 방향은 3500 이상의 높은 Q 값을 보인다. 실제로 실험적으로 측정된 총 Q 값 또한 1900 이상의 높은 값이었다.

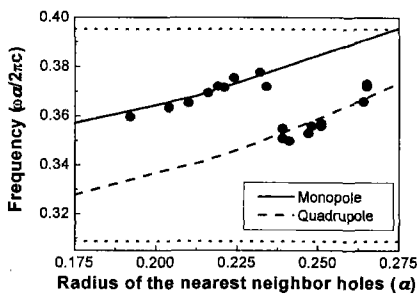
홀극 모드는 중심에 세기가 0인 노드(node)가 있으므로 이 위치에 작은 반경의 기둥을 세우는 것은 홀극 모드의 특성에 많은 영향을 끼치지 않을 것으로 기대되고 실제로 계산을 통해 이를 확인하였다. 기둥을 통해 전류를 흘림으로써 홀극 모드는 전기 펌핑에 응용될 수 있을 것이다.



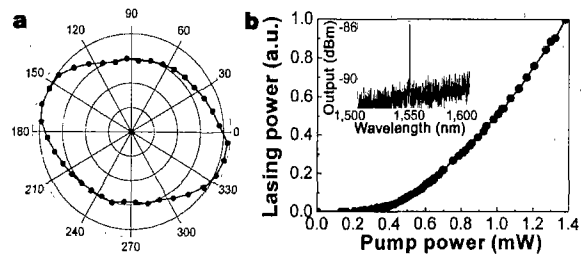
[그림 1]



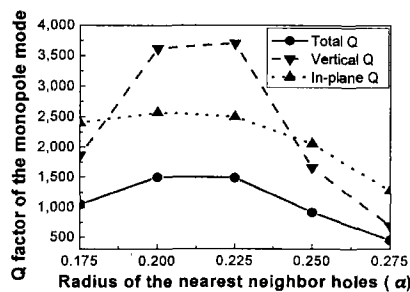
[그림 2]



[그림 3]



[그림 4]



[그림 5]

[참고 문헌]

1. J. D. Joannopoulos, P. R. Villeneuve, and S. Fan, Nature 386, 143 (1997).
2. H. Yokoyama, Science 256, 66 (1992).
3. O. Painter, J. Vuckovic, and A. Scherer, J. Opt. Soc. Am. B 16, 275 (1999).
4. J. D. Joannopoulos, R. D. Meade, and J. N. Winn, Photonic crystal, Princeton (1995).
5. O. Painter, A. Husain, A. Scherer, J. D. O'Brien, I. Kim, and P. D. Dapkus, J. Lightwave Technol. 17, 2082 (1995).