

## 2차원 단일 결합 광결정에서

## 이중 극자 모드 레이저의 먼 장 특성

The far-field characteristics of the dipole mode laser  
in the two dimensional single cell photonic crystal

김선경, 김세현, 김국현, 이용희

한국과학기술원 물리학과

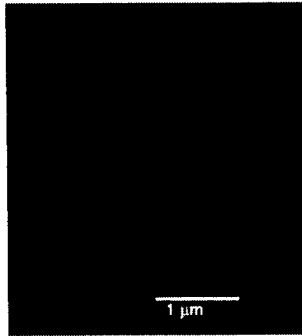
[jclub@kaist.ac.kr](mailto:jclub@kaist.ac.kr)

2차원 슬랩 형태의 단일 결합 레이저는 낮은 발진 문턱값과 작은 모드 부피로 인해 문턱 없는 레이저의 동작 가능성, 광자 집적 회로에서의 광원 소자 등으로 각광을 받고 있다. 광결정은 결정 구조에 따라 삼각격자와 사각격자로 나눌 수 있는데, 특히 삼각격자의 경우 사각격자에 비해 밴드갭이 보다 넓은 주파수 영역에 걸쳐 나타나므로, 공진기와 도파로서의 응용에 더 적합한 소재로 연구되고 있다.

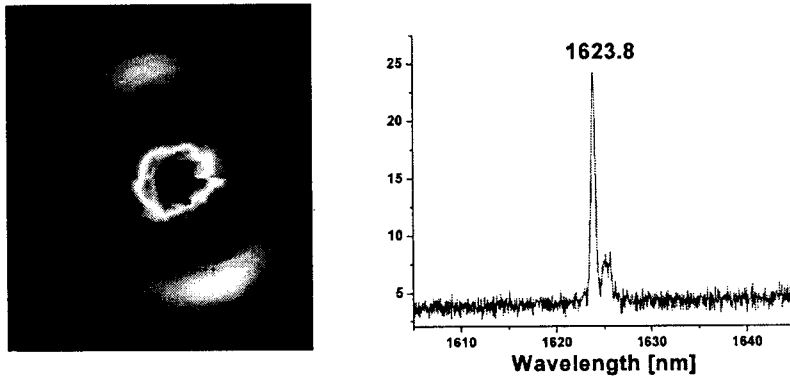
2차원 삼각구조 단일 결합 광결정은  $60^\circ$ 회전에 대하여 대칭성을 가지므로, 군론에 따라 기본적으로  $60^\circ, 120^\circ, 180^\circ, 360^\circ$ 의 회전 대칭성을 가지고 있는 네 종류의 모드가 존재한다. 이를 각각 홀극 모드, 육중극 모드, 사중극 모드, 이중극 모드라고 부른다. 각각의 모드는 결합 내에서의 전기장 분포가 상이하므로, 공진 주파수, 품질계수, 편광, 근접장, 먼 장 등에서 다른 성질을 보이게 된다. 바꾸어 말하면, 어떠한 광결정 단일 결합 구조에서 실험적으로 발견한 모드의 정체를 규명하기 위해서는 앞서 언급한 성질들을 비교하여야 한다. 이 연구에서는 특히 2차원 삼각구조 단일 결합 광결정 내의 이중 극자 모드의 먼 장을 조사하고, 이중 극자 모드의 방출 방향에 대해 논의한다.

이 연구에서, 광결정 레이저는 7층의 InGaAsP 양자 우물 구조를 이득 매질로 사용하며, 전자빔 리소그라피와 에칭 과정을 통해 2차원 슬랩 형태의 삼각 격자 단일 결합 광결정이 완성된다. 그림 1은 완성된 광결정 레이저의 전자 현미경 사진이다. 광결정의 격자 주기(a)는 530nm이고, 큰 구멍과 작은 구멍의 크기는 각각 160nm(0.30a), 110nm( $\sim 0.21a$ )이다. 여기서 결합 주변의 작은 구멍은 그 크기에 따라 단일 결합에 존재하는 모드의 공진 주파수를 조절 하는 역할을 한다. 제작한 광결정 레이저의 먼 장을 다음과 같이 측정하였다<sup>(1)</sup>. 먼저, 980nm 다이오드 레이저로 샘플의 기판을 통해 레이저를 여기 하였고, 샘플로부터 약 20cm 떨어진 곳에 광감지계를 설치하여, 샘플과 광감지계를 순차적으로 돌리면서, 반지름 20cm의 반구를 빠져 나오는 모든 광을 측정하였다. 그림 2는 그림 1의 구조에서 측정한 먼 장 결과와 먼 장 측정 직전의 스펙트럼이다. 먼 장 결과에서 보듯이, 레이저의 방출 방향이 강한 수직성을 띄고 있음을 알 수 있다. 이는 이중 극자 모드의 일반적인 행태이다<sup>(2)</sup>. 스펙트럼에서 보이는 두 개의 모드는 측정된 이중 극자 모드가 광결정 제작의 불완전함으로 인해 갈라진 것이다. 이중 극자 모드임을 확인하는 다른 방법으로 레이저의 편광을 측정하였다. 그림 3은 측정된 레이저의 편광을 나타내며, 예상과 같이 선편광 되었음을 알 수 있다. 이중 극자 모드의 먼 장에서의 강한 수직성은 2차원 광결정 슬랩 내의 빛을 외부로 끄집어내는 데 효과적으로 이용될 수 있을 것이다. 이중 극자 외의 다른 기본 모드의 먼 장

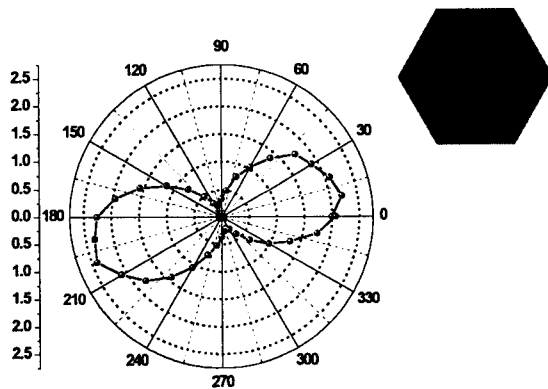
특성에 대해서도 연구 중에 있다.



[그림 1] 측정된 광결정 레이저 구조의 전자 현미경 사진. 격자의 주기는 530nm이고, 큰 구멍과 작은 구멍의 반지름은 각각 160nm( $\sim 0.30a$ ), 110nm( $\sim 0.21a$ )이다.



[그림 2] 이중 격자 모드의 먼 장 결과와 먼 장 측정 직전의 스펙트럼



[그림 3] 이중 격자 모드의 편광 측정 결과

- 1 Dong-Jae Shin, Se-Heon Kim, Jeong-Ki Hwang, Han-Youl Ryu, Hong-Gyu Park, Dae-Sung Song, and Yong-Hee Lee, "Far- and near-field investigations on the lasing modes in two dimensional photonic crystal slab lasers", Quantum Electronics, IEEE Journal on, **38**, 857 (2002)
- 2 Oskar Painter, Kartik Srinivasan, "Polarization properties of dipolelike defect modes in photonic crystal nanocavities", Optics Letter, **27**, 339 (2002)