

## 2차원 광 밴드 갭 레이저의 편광 분석된 발광특성

### Polarization-resolved radiation patterns of 2-D photonic band gap lasers

신동재\*, 황정기\*, 류한열\*, 송대성\*, 한일영\*, 박홍규\*, 장동훈\*\*, 이용희\*

\*한국과학기술원 물리학과, \*\*한국전자통신연구원

s\_djshin@cais.kaist.ac.kr

광 밴드 갭(photonic band gap)을 가지는 광 결정(photonic crystal)을 이용하여 만들어진 미세 공진기(micro-resonator)를 통해 상온 연속 동작하는 레이저가 최근 개발되었다.<sup>(1)(2)</sup> 이 미세 공진기는 이득매질(gain medium)이 성장된 반도체의 기판방향과 기판에 수직인 방향을 각각 이차원 광 결정과 판 도파로(slab waveguide) 구조의 전반사를 이용하여 제한하는 구조이다. 이러한 광 밴드 갭 공진기의 공진 모드는 그 동안 계산적인 방법을 통해 이론적으로 연구되어 왔으며, 직접 모드의 특성을 측정하는 실험의 필요성이 크게 대두되고 있다.<sup>(3)</sup> 본 연구에서는 광 밴드 갭에 의해 형성된 2차원 미세 공진기내에서 레이저 발진된 모드의 특성을 먼장 영역(far-field regime)에서 측정 분석한 결과를 보고한다.

1. J. K. Hwang, H. Y. Ryu, D. S. Song, I. Y. Han, H. W. Song, H. K. Park, D. H. Jang, and Y. H. Lee, *Appl. Phys. Lett.* 76, 2982 (2000)
2. J. K. Hwang, H. Y. Ryu, D. S. Song, I. Y. Han, H. K. Park, D. H. Jang, and Y. H. Lee, *Photon. Technol. Lett.* 12, 1295 (2000)
3. H. Benisty, et al, *J. Lightwave Technol.* 17, 2063 (1999)

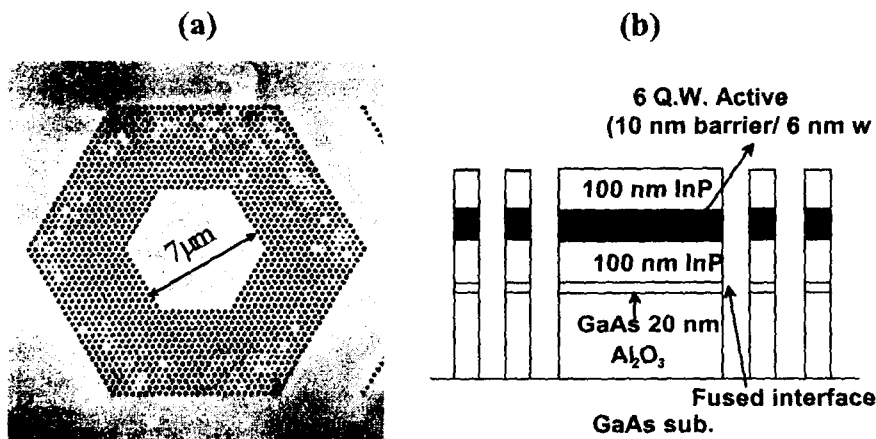


그림 1 (a) 2차원 광결정 공진기의 전자현미경 사진. 격자 상수 = 372 nm, 구멍 지름 = 200 nm. (b) 레이저 구조의 단면도. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>층은 이득매질보다 굴절률이 작으므로 양자우물에서 발생한 빛이 이득매질 내에서 도파된다.

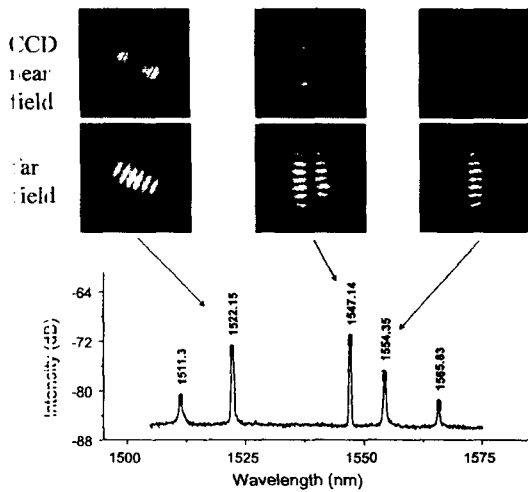


그림 2 laser 1의 발진 모드들의 근접장과 먼장의 세기 분포. 근접장 세기 분포위의 점선은 실제 공진기를 나타낸다. 먼장 세기 분포는 로그 눈금(log scale)이다.

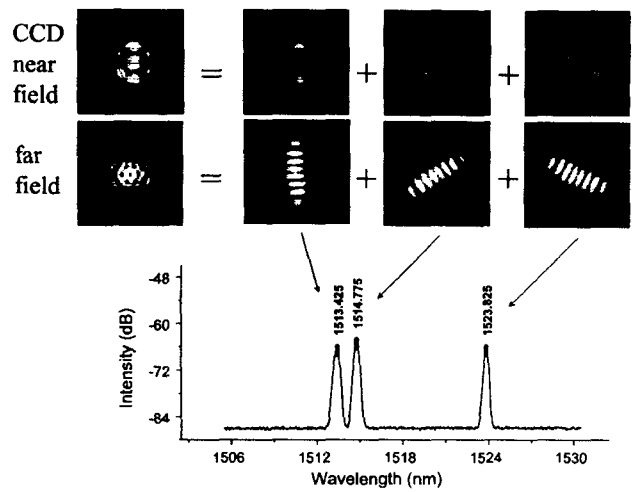


그림 3 laser 2의 발진 모드들의 근접장과 먼장의 세기 분포. 2차원 공진기의 3방향 대칭(3-fold symmetry)이 완벽하지 못하여 오른쪽 3개의 모드들의 축퇴(degeneracy)가 깨어졌다. 가장 왼쪽의 그림은 오른쪽 3개의 모드가 동시에 발진한 경우이다.

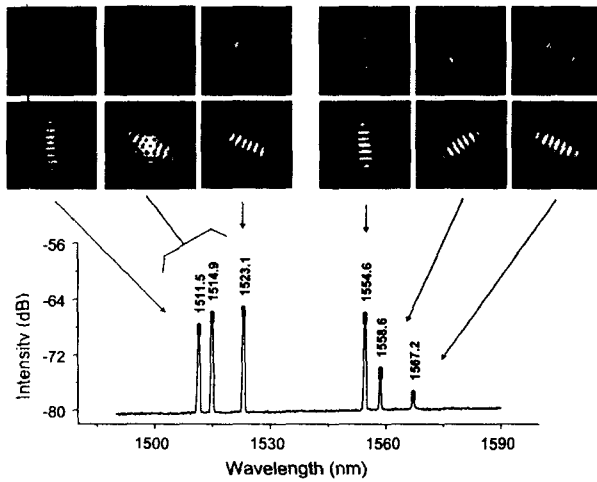


그림 4 laser 3의 발진 모드들의 근접장과 먼장의 세기 분포. 왼쪽 3개의 모드와 오른쪽 3개의 모드들은 각각 자유 분광 영역(free spectral range)만큼 떨어진 이웃한 종모드(longitudinal mode)들이다. 왼쪽 모드들의 경우, 근접장의 두 밝은 점들이 180도의 위상차가 나는 것을 먼장의 분포로부터 알 수 있다. 오른쪽 모드들의 경우에는 위상차가 나지 않는다.

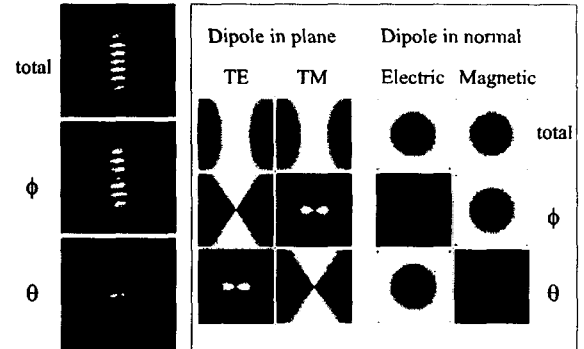


그림 5 대표적인 발진 모드의 편광상태.  $\theta$ 와  $\phi$ 는 각각 구면좌표의 극각(polar angle)과 방위각(azimuthal angle)이다. 왼쪽의 그림들은 실제 데이터로서 위에서부터 각각 전체,  $\phi$ 편광,  $\theta$ 편광의 세기를 나타낸다. 오른쪽의 그림들은 쌍극자 광원에 대해 계산된 것이다. TE (transverse electric) 모드와 TM (transverse magnetic) 모드는 각각 전기장과 자기장의 방향이 기판에 평행한 경우이다.