

매우 작은 모드 부피를 갖는 사각 격자 무결합 광결정 레이저

Ultrasmall square-lattice zero-cell photonic crystal laser

정광용, 이호석*, 서민교, 박홍규*, 이용희
 KAIST 자연과학부 물리학과, *고려대학교 자연과학부 물리학과
zeros@kaist.ac.kr

광결정 레이저는 높은 품질값과 작은 모드 부피를 갖고 있어 매우 작은 문턱값을 갖는 레이저를 만들 수 있다.⁽¹⁾ 최근 다양한 미소 광결정 레이저들 중에서 두 개의 공기구멍을 이동시킨 매우 작은 모드 부피를 갖는 무결합 광결정 레이저가 보고되었다.^{(2),(3),(4)} 본 연구에서는 사각격자 무결합 광결정 구조와 이중접합 구조를 이용해 매우 작은 모드 부피를 갖는 공진기를 단일 모드로 레이저 발진에 성공하였다. 레이저의 동작매질로는 1.55 μm 근처에서 최대 형광을 나타내는 InGaAsP 단일 양자 우물구조를 채택하였으며, 단일 양자우물의 굴절률과 두께는 3.4와 200 nm이다. 사각 격자 구조는 전자빔 식각과 건식각을 통해서 제작하였다. 그림 1의 (a)는 2차원 사각격자 무결합 광결정 레이저의 전자현미경 이미지로 사각 격자를 45° 회전 시킨 것이다. 이 공진기는 사각 격자 구조에서 두 개의 공기구멍의 위치를 이동시키고 크기가 다른 두 공기구멍을 결합한 구조이다. 45°회전 사각 격자 구조에서 양 옆에 있는 두 공기구멍 사이의 거리는 격자상수의 $1.0\sqrt{2}$ 배이지만, 그림 1의 (b)에서와 같이 가운데 있는 두 공기구멍을 양 옆으로 이동시켜서 거리를 더 멀어지게 만들었다. 또한 그림 1의 (b)에서 흰 점선으로 표시된 영역의 공기구멍의 반지름(R)은 다른 영역의 공기구멍의 반지름(r)보다 크다.

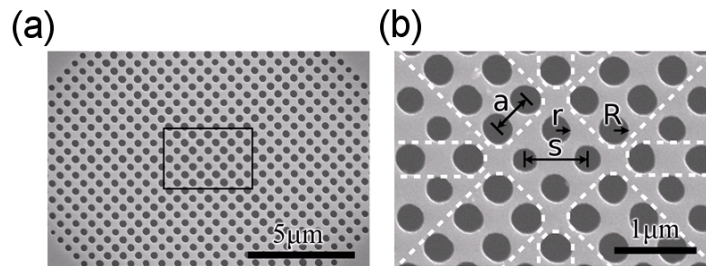


그림 1. (a) 제작된 사각격자 무결합 광결정 레이저의 전자현미경 이미지. (b) 그림.1(a)의 검은 선으로 표시된 부분을 확대한 사진 : $a=520\text{ nm}$, $r=0.33 a$, $R=0.37 a$, $s=1.08\sqrt{2} a$.

3차원 유한차 시간영역 전산모사를 통하여 이 공진기의 공진 모드의 광학적 성질을 이론적으로 분석하였다. 제안된 구조에서는 두 개의 공진 모드가 존재한다. 그림 2의 (a)와 (b)는 두 모드 중에서 품질값이 높은 공진모드의 자기장의 분포와 전기장 세기의 분포를 나타낸 것이다.. 사각 격자에서는 수직 품질값과 수평 품질값이 각각 $r = 0.35 a$ 와 $R = 0.4 a$ 일 때 최대값을 갖는 것이 보고된 바 있다.⁽⁵⁾ 이를 토대로 품질값과 모드 부피를 이동시킨 두 공기 구멍 사이의 거리(s)의 함수로 나타낸 것이 그림 2의 (c)이다. $s = 1.1\sqrt{2} a$ 일 때, 품질값은 약 4200으로 최대값이고, 모드부피는 $0.017\ \mu\text{m}^3 (1.7(\lambda/2n_{slab})^3)^3$ 으로 최소값을 갖는다.

실온에서 980nm의 파장을 갖는 레이저 다이오드를 이용해서 광여기를 통해 제작된 레이저의 스펙트럼을 측정하였다. 그림 2의 (a)에서 볼 수 있듯이 1511 nm에서 단일 모드로 레이저가 발진되었고 문턱값은 약 130 μW 이다.

이 매우 작은 모드 부피를 갖는 광결정 레이저는 공진기 가운데에 전기장의 세기가 0이므로 공진기 가운데에 기둥을 갖는 전기로 여기되는 광결정 레이저로 사용될 수 있고^{(6),(7)}, 미소 광집적회로의 광원으로 쓰일 수 있을 것이라 예상 할 수 있다.

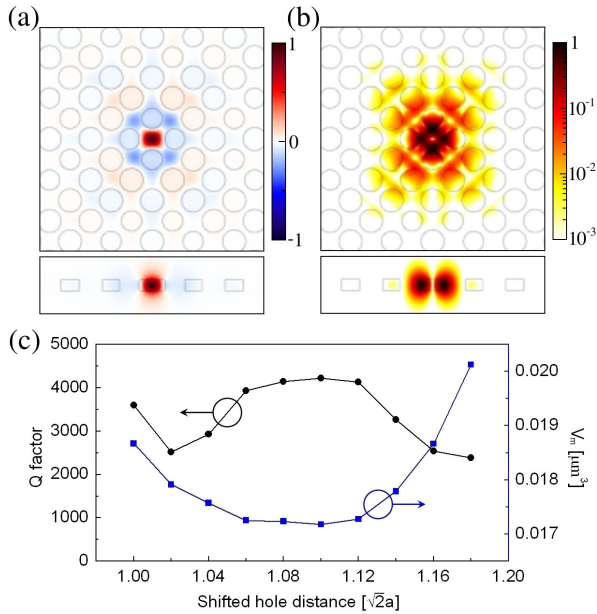


그림 2. 공진기 내의 (a) 자기장 분포와 (b) 전기장의 세기 분포의 Log 값. (c) $r=0.35$ a, $R=0.4$ a 일 때 품질계수와 모드부피를 이동시킨 구멍 사이의 거리(s)함수로 계산한 결과.

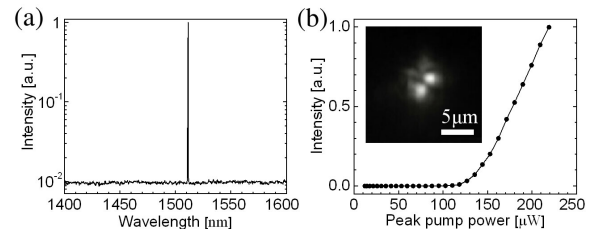


그림 3. (a) 레이저로 발진 되었을 때의 스펙트럼 (광여기 파워 =240 μW) (b)L-L 곡선. 약 130 μW 의 문턱값을 갖는다. 삽입된 그림은 레이저가 발진된 모습을 적외선 카메라로 찍은 모습이다.

참고 문헌

1. O. Painter et al., *Science*, 284, 1819 (1999)
2. K. Nozaki, et.al. *APL* 88, 211101 (2006)
3. K. Nozaki, et.al. *Opt.Express* 15, 7506 (2007)
4. Z.Zhang, et.al., *Opt.Express* 12, 3988 (2004)
5. H.-Y.Ryu et.al. *APL* 80, 3883 (2002)
6. H.-G.Park, et.al. *Science*, 305, 1444 (2004)
7. M.-K.Seo et.al. *APL* 90, 171122 (2007)