2차원 광결정 막대형 레이저

Two-dimensional Photonic Crystal Stick Laser

김세헌, 김국현, 김선경, 이용재, 양진규, 이용희
한국과학기술원 물리학과
kalt@kaist.ac.kr

이 연구에서는 2차원 삼각형 격자모양의 광결정(photonic crystal) 슬랩위에 형성된 막대형 공진기를 이용한 레이저 발진을 보고한다. 막대형 공진기란 그림 1과 같이 광결정 도파로(waveguide)를 기반으로 하여 만들어진 것으로, (a)와 같이 직선형으로 된 공진기, (b)와 같이 도파로의 진행방향에서 60도 꺾인 공진기, (c)와 같이 120도 꺾인 공진기의 세 가지 형태에 대하여 연구하였다. 이와 같은 형태의 공진기는 기본적으로 광결정 도파로와 형태가 비슷하므로, 공진 모드도 광결정 도파로의 도파모드와 비슷한 성질을 가질 것으로 추측해볼 수 있다. 실제로 광결정 도파로를 육각형의 고리모양으로 만든 공진기에서 레이저 발진을 관측한 바 있으며, 발진 모드가 광결정 도파모드와 비슷한 성질을 가짐을 확인한 바 있다[1]. 광결정 도파로에 기반한 공진기에 관한 연구는 도파로의 꺾임에서의 손실에 관한 정량적인 자료를 줄 수 있을 뿐만 아니라, 효과적인 꺾임 구조를 설계하는데에 장점이 있을 것으로 본다[2,3].

광결정 패턴은, 1.55 μm에서 중심 발진 파장을 갖는 InGaAsP 양자우물을 포함한 두께 200 nm 정도의 슬랩위에 형성되어 있으며, 전자빔 리소그래피, CAIBE, HCl 습식 식각의 방법들을 사용하여 제작하였다[4]. 그림 1은 제작된 샘플의 전자현미경(SEM) 사진을 보여준다. 제작된 샘플은 대략 530~580 nm 정도의 주기(a)를 갖고 있으며, 공기 구멍의 반지름은 0.35 a~0.38 a 정도이다. 제작된 샘플을 레이저 발진시키기 위해서 980 nm의 레이저 다이오드를 사용하여 상온에서 주기 1 μs, 펄스폭 10 ns 로 펄스 펌핑하였다. 그 결과 1500~1600 nm 사이에서 단일 모드 또는 다중 모드로 발진함을 관측할 수 있었다. 그림 2는 레이저 발진 시에 장파장 CCD를 이용하여 얻어진 근접장 이미지를 보여준다. 발광(emission)이 주로 막대 모양의 공진기를 따라서 분포하고 있음을 알 수 있다. 레이저의 특성을 분석하기 위하여 길이가 21 a인 직선형 막대 레이저에 대해서 L-L(light versus light) 곡선을 측정하여 보았다 (그림 3). 이 레이저는 파장 1557 nm 정도에서 단일 모드로 발진한다. 발진 파장에서의 L-L 곡선 측정을 통해서 문턱값은 대략 1.5 mW로 일반적인 광결정 단일 결함 레이저의 값보다는 크지만[5], 펌핑 밀도를 고려해 볼 때 비슷한 정도임을 알 수 있다.

막대형 공진기의 공진 조건을 살펴보기 위해서, 3차원 FDTD 방법을 사용하여 공진 peak들을 구하여 보았다. 그 결과 막대형 공진기의 길이가 L 일 때, kL = m π(m은 정수, k는 파수벡터)인 공진 조건을 잘 만족함을 확인할 수 있었다. 꺾임이 있는 구조라 할 지라도, 공진기 전체 길이에 비하여 꺾인 부분의 비율이 작은 경우는 kL = m π의 간단한 패브리-페롯 공진 조건을 만족함을 확인할 수 있었다[1]. 이와 같이 막대형 공진기에 대한 공진 모드 분석을 통하여 꺾임의 정도에 따른 공진 peak들의 변화 정도를 살펴볼 수 있고, 효과적인 꺾임 구조를 설계하는데에도 유용할 것으로 본다. 또한 훗날 광결정을 이용한 광집적회로에서 in-plane 광원 혹은 이차원 광행렬 등으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

1. S. H. Kim, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **81**, 2499 (2002).
2. S. Olivier, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **79**, 2514 (2001).

3. A. Chutinan, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **80**, 1698 (2001).
4. H. Y. Ryu, *et al.*, *IEEE J. Selec. Topics Quantum Electron.* **8**, 891 (2002).
5. H. G. Park, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **79**, 3032 (2002).

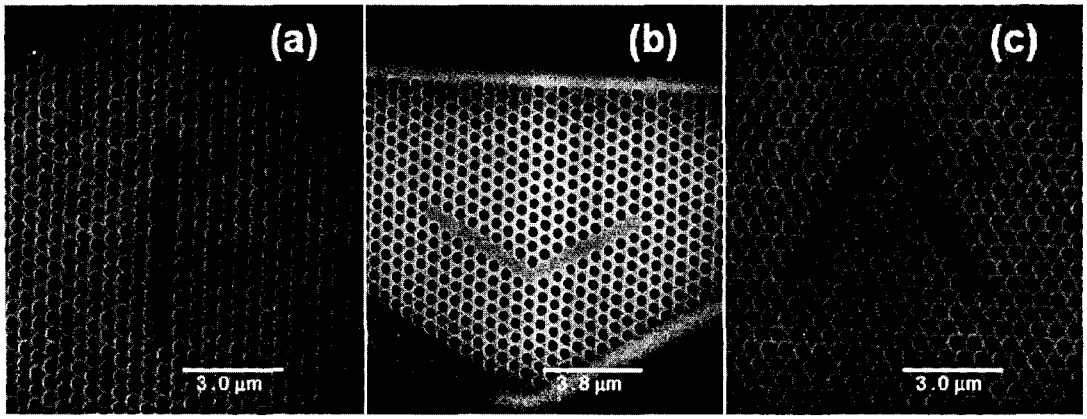

그림 1 광결정 막대형 레이저의 전자현미경(SEM) 사진. (a) 직선형 막대 공진기 레이저. (b) 60° 굽은 막대 공진기 레이저. (c) 120° 굽은 막대 공진기 레이저.

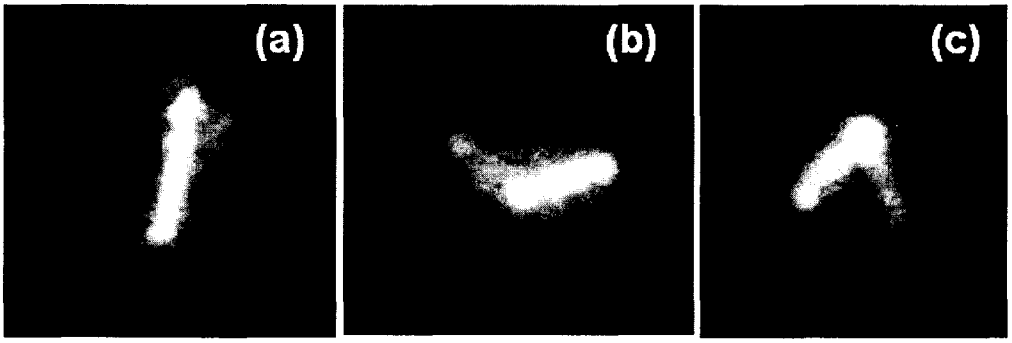

그림 2 광결정 막대형 레이저의 발진시 CCD 사진. (a) 직선형 막대 공진기 레이저. (b) 60° 굽은 막대 공진기 레이저. (c) 120° 굽은 막대 공진기 레이저.

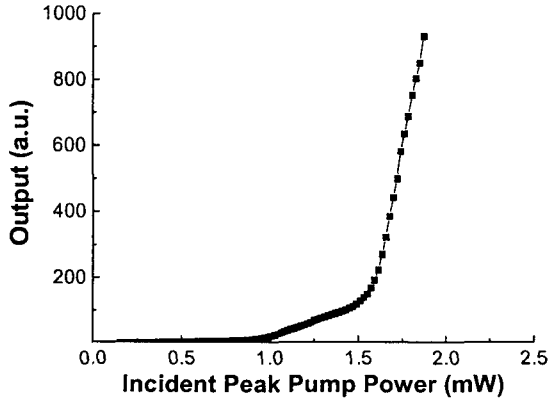

그림 3 발진 파장에서의 L-L 곡선.