

7배로 출력이 증대된 꽃잎 양자테 레이저

7-fold power-enhanced flower quantum ring laser

채광현, 김영천, 신미향, 권오대
 포항공과대학교 전자전기공학과
chaekh@postech.ac.kr

신 성장 동력으로 부상한 발광다이오드(LED)는 첨단 디스플레이 및 조명 광원으로써 기존 반도체레이저들을 무색케 하고있다. 한편 최근 일본 니치아 회사의 특허침해 소송으로 국내 LED 업체들이 바짝 긴장하고 있다. 본 연구실이 약10년째 연구해온 광양자테(photonic quantum ring : PQR) 레이저는 상기 LED를 능가할 수 있는 신형 반도체레이저이다.

3차원의 whispering cave mode (WCM) 로 발진하는 PQR레이저는 유사한 수직공진형 레이저(vertical cavity surface emitting laser: VCSEL)와 고주파 및 수명 특성이 비슷하지만 직진성 안전과 스펙클 문제 등에서 자유롭고, 섭씨 130도 에서도 발진의 온도안정성을 보이는 만큼 열화문제도 거의 없다. PQR 레이저는 3차원 전반사로 이루어지는 토로이드 공진으로 생성되는 나선형(helical) 정상파(standing wave)의 광양자울타리효과가 재결합 직전의 랜덤 캐리어(imminent recombinant carriers)들을 순간적으로 동심원형 양자선(quantum wire)들로 재 분포 시킨다. 이 까닭에 PQR 레이저는 극소 문턱 전류, 온도 안정성 등의 독특한 특성들을 가진다. [1], [2]

광양자테 레이저의 테두리를 통상적인 원형 대신 꽃잎의 형태로 대체할 경우, 꽃잎의 불룩한 부분에서는 메사(mesa) 타입의 concave 전반사, 그리고 오목한 부분에서는 홀(hole) 타입의 convex 전반사가 성립하여 융합되는 PQR 레이저로 결과한다. 따라서 PQR 꽃잎의 개수와 밀도가 증가하도록 설계 제작함에 따라 전체의 PQR 발진 길이도 증가하여 결과적으로 PQR 레이저의 광 출력이 증가하도록 한다.

그림 1은 제작된 직경 18um 원형 소자(a 좌)와 전체 너비 20um(a 우), 30um(b) 등의 꽃잎 모양 PQR 소자의 단위면적당 전류(25, 50, 100)에 따른 CCD 사진이다.

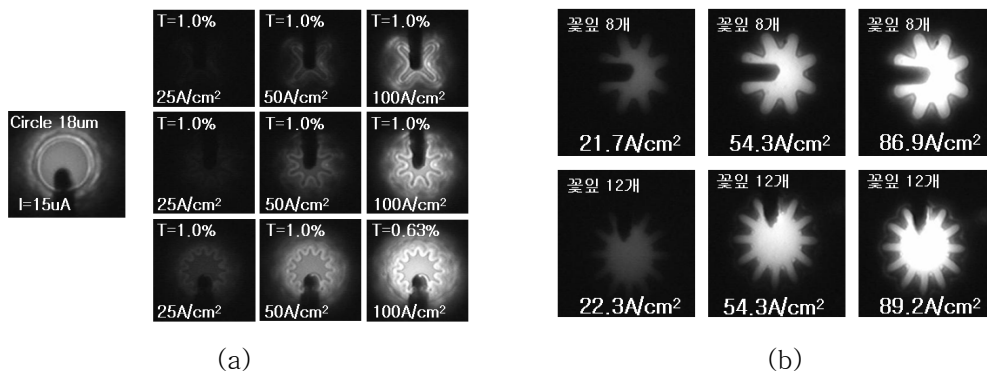


그림 1. 제작된 꽃잎 광양자테 레이저의 CCD 에미션 사진 (a)-850nm (좌) 직경 18um 원형 소자, (우) 너비 20um 꽃잎 소자, ND filter 사용 (b)-780nm 너비 30um 780nm 꽃잎8개, 12개 소자 에미션 사진

전체 너비 20um인 파장 850nm 소자들의 경우 꽃잎 개수가 많을수록 즉, 광양자테 레이저의 발진 면적

이 늘어날수록 동일 단위면적당 전류값에서 더욱 강한 빛을 낼 수 있으며, 파장 780nm 소자들의 경우 꽃잎 8개, 12개 모두가 양자테 발진이 없는 경우이다. 이 경우의 주원인은 수직공진 조건의 미흡함으로 보인다. 한편 GaAs계 화합물반도체 경우의 광양자테 레이저는 임계직경 $\sim 50\mu\text{m}$ 라는 한계를 벗어날 수 없다 [2]. 꽃잎레이저의 전체 양자테 길이가 이 한계를 벗어날 경우에도 발진은 불가능해진다. 그림 2.(a)는 상기한 직경 18 μm 의 원형 소자와 전체 너비 20 μm 인 꽃잎 4개, 꽃잎 8개, 꽃잎 12개 소자의 단위 면적당 전류값에 따른 출력 파워 그래프이다. 양자테 테두리의 길이는 원형 소자의 경우 56.6 μm 이며 꽃잎 소자의 경우 각각 66.5 μm , 88.8 μm , 109.3 μm 로 이를 원형 메사의 원주로 가정하면 각각 21.2 μm , 28.3 μm , 34.8 μm 의 지름을 갖는 원형 메사의 크기에 해당한다.

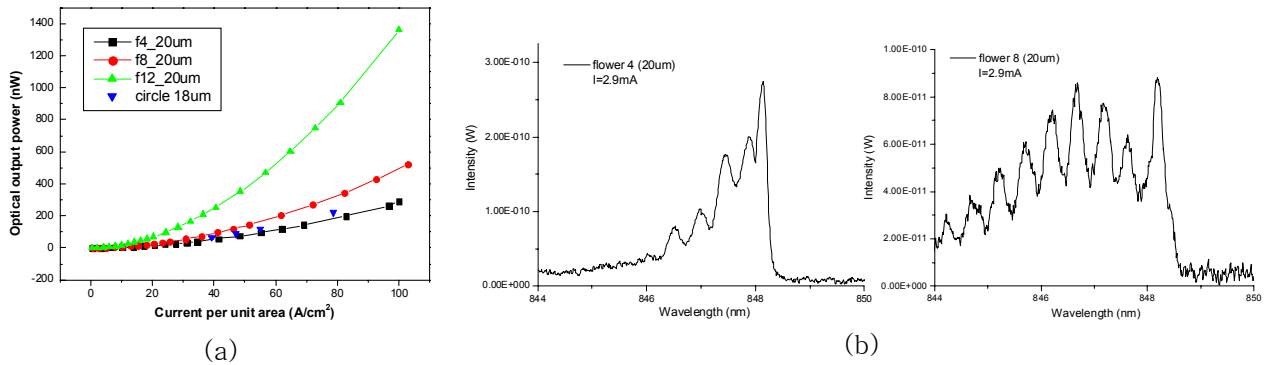


그림 2. 제작된 꽃잎 광양자테 레이저의 단위면적당 전류값에 따른 출력파워. (a) 직경 18 μm 원형 및 너비 20 μm 인 꽃잎 4개, 8개, 12개 광양자테 레이저의 단위면적당 전류에 따른 출력파워 (b) 850nm 꽃잎소자 스펙트럼 (꽃잎 4개, 8개소자), 주입전류 2.9mA

직경 18 μm 인 원형 PQR 에 비하여 꽃잎 12개 PQR 의 출력이 약 7배로 증가하였다. 꽃잎 소자들의 경우 앞선 CCD 사진 및 출력 파워 그래프를 통해 양자테 면적이 커질수록 전체 출력 파워가 증가하는 현상을 확인할 수 있으며, 이로부터 동일 너비를 갖는 소자의 경우, 원형 메사 중앙의 LED 면적을 줄이면서 테두리의 광양자테 레이저 발진 면적을 늘릴수록 출력 파워는 더욱 증가할 것으로 기대된다. 그림 2.(b)는 전체 너비 30 μm 인 꽃잎 4개, 8개 850nm 소자의 발진 스펙트럼을 보여준다. 다파장 스펙트럼의 상세한 비교는 양자테 모델의 분석 결과를 얻어서 수행될 예정인데, 꽃잎들이 많아질수록 다파장의 분포도 비슷하게 복잡해지는 현상을 보인다 [3].

따라서 광양자테 레이저의 임계직경을 넘지 않는 범위 내에서 꽃잎 개수를 늘릴수록 양자테 발진 면적의 증가 (LED 발광 영역 감소)로 인한 출력 파워의 향상이 가능하며, 리소그래피(lithography), 식각 등의 기술적 문제에서 자유롭다면 크기가 작은 소자일수록 꽃잎 개수를 늘리더라도 광양자테 레이저의 임계직경을 넘어서지 않게 되며 출력 파워는 더욱 향상 가능함을 보였다.

REFERENCES

[1]. J. C. Ahn, K. S. Kwak, B. H. Park, H. Y. Kang, J. Y. Kim, and O'Dae Kwon, Phys. Rev. Lett. Vol 82, pp 536-539 (1999).
 [2]. O'Dae Kwon, M. J. Kim, S-J. An, D.K. Kim, S. E. Lee, J. Bae, and J. H. Yoon, Appl. Phys. Lett. Vol. 89, pp. 011108-011110 (2006).
 [3]. J. Bae, J. Lee, O'Dae Kwon, and Vladimir G. Minogin Opt. Lett. Vol. 28, No. 20, pp 1861-1863 (2003).