

마이크로칩형의 InGaN 수직 외부 공진기 표면 발광 레이저

Microchip type InGaN Vertical External Cavity Surface Emitting Laser

박시현¹⁾, 전현수²⁾

¹⁾조선대학교 광기술공학과, ²⁾서울대학교 물리학과

sihyun_park@chosun.ac.kr

수직 외부 공진기 표면 발광 레이저(Vertical External Cavity Surface Emitting Lasers; VECSELs)는 최근 들어서 큰 주목을 받고 있는 광소자이다.⁽¹⁻²⁾ VECSEL은 기본적으로, 다이오드 펌핑 고체상 (Diode Pumped Solid State; DPSS)레이저와 화합물반도체 다중 양자 우물 수직 공진기 표면 발광 레이저(Vertical Cavity Surface Emitting Lasers; VCSELs)에서 두 레이저의 발진방식을 합하여 그들의 장점들이 얻어지도록 만든 레이저이다. 따라서 VECSEL의 장점은 첫째 저 발산, 원형, 회절한계의 매우 좋은 성질의 빔을 얻을 수 있다는 것. 둘째 활성층의 면적에 비례하여 출력 파워를 높을 수 있다는 것. 셋째 화합물반도체의 밴드갭 공정을 통해서 원하는 모든 발진 파장을 얻을 수 있다는 것. 넷째 광펌핑을 이용함으로써 활성층의 도핑이나 그레이딩 구조가 필요가 없다는 것 등등이다. 가시광 영역에서 발진되는 VECSEL은 특별히 레이저 디스플레이 광원으로의 응용 관점에서 많은 연구가 진행되어지고 있는바, 적색 영역에서는 기존에 잘 알려진 GaInP/AlGaInP/GaAs물질을 이용하여 VECSEL의 연속 발진이 발표되고 있다⁽³⁾. 청색 영역에서 최근 본 연구자가 InGaN/GaN/AlGaIn 물질을 이용하여 VECSEL의 펄스 발진에 성공 한바 있다.⁽⁴⁻⁵⁾ 이 구조는 사파이어 기판을 공진기로 사용하는 마이크로칩 타입이며, 안정된 공진기 구조를 이루기 위해 사파이어 마이크로 렌즈가 집적된 형태를 가지고 있다. 우리는 여러 가지 다른 곡률 반경에서 VECSEL의 발진의 양상을 관찰하였다. 본 연구에서는 마이크로 렌즈가 집적된 마이크로칩 타입 InGaN VECSEL의 발진특성을 실험적 이론적으로 살펴보았다. MOVPE를 이용해서 사파이어 기판위에 에피층이 성장되었다. 활성층구조는 InGaN/GaN 3nm/10nm 10 주기 양자 우물구조가 AlGaIn 2과장주기 공진기의 중앙에 위치하는 구조이다. 활성층은 2 μm 의 GaN 버퍼층위에 성장 되었다. SiO₂/HfO₂ 11.5 쌍의 부도체 Distributed Bragg Reflector (DBR)을 에피층 윗면에 증착하여 99.5% 이상의 반사율을 만들었다. 사파이어 기판의 아래 면을 래핑, 폴리싱 한 후에, 기판 아래 면에 사파이어 마이크로 렌즈를 만들었다. 사파이어 마이크로 렌즈는 감광막 렌즈를 회생층 으로 하여 Inductively Coupled Plasma(ICP) 시스템으로 사파이어를 에칭 하여 만들었다⁽⁶⁾. 마이크로렌즈를 만든 후에, 렌즈가 있는 기판 아래 면에 SiO₂/HfO₂ 11.5 쌍의 부도체 DBR을 증착하였다. 만들어진 샘플은 3조화 Q 스위치 Nd:YAG 펄스레이저로 펌핑 되었다. 펌핑 레이저의 펄스폭과 주기는 각각 5 ns, 10 Hz였다. 그림 1은 최종적으로 만들어진 소자의 개형도를 보여 주고 있다. 우리는 여러 다른 종류의 곡률반경을 가지는 렌즈가 집적된 소자들을 준비 하였다. 더하여서 렌즈가 없는 소자, 즉 곡률반경 R=(무한대) 인 소자도 준비하여서, VECSEL 발진을 비교 하였다.

그림 2는 렌즈 곡률반경에 따른 발진 임계 에너지값, 그리고 레이저 출력 기울기 효과를 보여주고 있다. 공진기 길이 30 μm 인 소자에 대해, 약 530 μm 의 곡률반경에서 최적화된 임계 에너지와 레이저 출력 기울기를 나타내고 있다. 발진 스펙트럼을 비교 분석한 결과에서도, 동일한 곡률반경에서, 최적화된 모드 안정화 결과를 보이며 발진 하는 것을 확인 하였다. 우리가 만든 각각의 공진기(d=30 μm)에 대해서 가우시안 빔의 인자들을 구하고 이것을 확장하여 모든 R에 대해 W를 구해서 그래프로 그려보면 그림 3과 같다. 마이크로렌즈가 집적된 공진기는, 두개의 평면으로 이루어진 공진기에 비해서, 두면의 평행 정렬에 덜 민감하다. 따라서 마이크로렌즈가 집적된 공진기는 공진기 내에서 빔이 반사를 거듭하면서 잃어버리는 손실이 더 작게 될 것이고, 더욱 안정된 공진기를 이루게 된다. 곡률반경이 무한대 에서 점점 줄어들수록, 이러한 효과는 점점 명확해져서 레이징 되는 모드의 특성은 점점 좋아진다. 그러나 그림 3에서 보는 바와 같이 곡률반경이 점점 줄어들수록 z=0 에서의 빔 폭의 크기 W₀는 점점 줄어들므로, 활성층에서 사

용되는 이득면적도 점점 줄어든다. W_0 는 R 의 0.5 승에 비례하므로 R 이 0에 가까운 값으로 갈수록 더욱 급격히 W_0 가 감소한다. 따라서 R 이 점점 줄어들면서 안정된 공진기 효과에 의한 것보다 이득면적이 줄어드는 효과가 레이저 발진에 더욱 큰 영향을 미치게 된다. 실제로 이것은 Z_0 가 d 보다 크다가 작아지는 지점으로, 레이저의 발진이 공진기안의 가우시안 빔의 근거리장의 공진에 의한 것에서 원거리장의 공진에 의한 것으로 바뀌는 지점이기도 하다. 따라서 이 두 효과의 균형을 취하는 지점에서, 최적화된 곡률반경이 존재 하게 된다. 그림 4은 다중 transverse 모드로 발진하는 스펙트럼을 보여주고 있다. 스펙트럼으로부터의 모드 간격(0.25 nm)는, 이론적인 transverse 가우시안모드의 모드 간격과 일치함을 확인 할 수 있다.

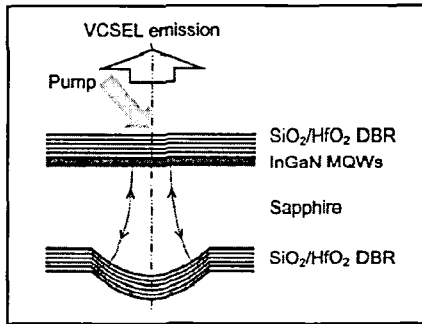


그림 1 렌즈가 집적된 마이크로 칩형 VECSEL소자의 개형도

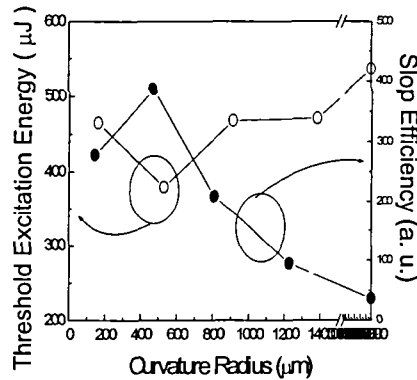


그림 2 곡률반경에 따른 레이저 발진의 임계 에너지 값, 그리고 레이저 출력 기울기 효과

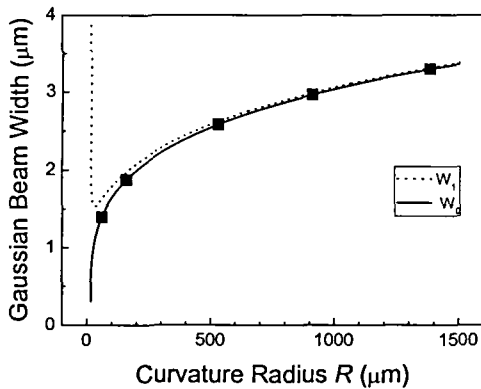


그림 3 공진기의 곡률반경에 따른 가우시안 모드의 빔 폭의 변화.

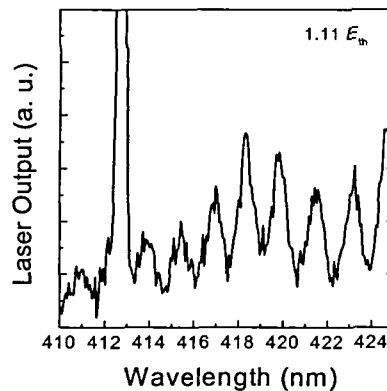


그림 4 transverse mode(=0.25nm) 간격을 보여주는 스펙트럼

참고문헌

[1] M. Kuznetsov, F. Hakimi, R. Sprague, and A. Mooradian, IEEE Photon. Technol. Lett., 9, 1063-1065 (1997).
 [2] A. C. Tropper, H. D. Foreman, A. Garnache, K. G. Wilcox and S. H. Hoogland, J. Phys. D: Appl. Phys., 37, R75-R85 (2004).
 [3] J. E. Hastie, S. Calvez, M. D. Dawson, T. Leinonen, A. Laakso, J. Lyytikäinen and M. Pessa, Optics Express, 13, 77-81 (2005).
 [4] S.-H. Park, J. Kim, H. Jeon, T. Sakong, S.-N. Lee, S. Chae, Y. Park C.-H. Jeong G.-Y. Yeom and Y.-H. Cho, Appl. Phys. Lett., 83, 2121-2123 (2003)
 [5] S.-H. Park and H. Jeon, phys. stat. sol. (a), 201, 2855-2858 (2004)
 [6] S.-H. Park, H. Jeon, Y.-J. Sung and G.-Y. Yeom, Appl. Opt., 40, 3698-3702 (2001)