

## PQR Laser Can Outdo LED II

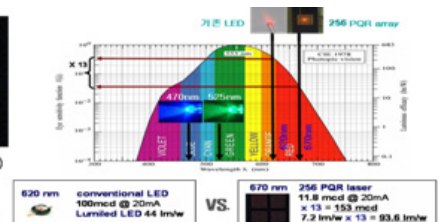
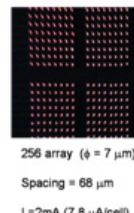
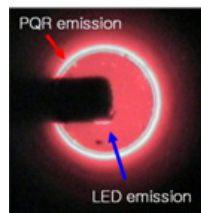
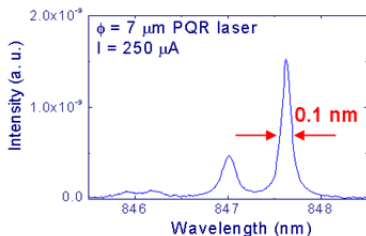
장영흠, 김영천, 윤준호, 이승은, 김승식, 권오대

포항공과대학교 전자전기공학과

[raison@postech.ac.kr](mailto:raison@postech.ac.kr)

광전자 산업에서 광(光)소자의 연구는 광통신 및 광집속 기술 외에 21세기 조명광원을 담당할 LED와 디스플레이 LED 연구로 대별된다. 현재 세계적으로 개발 경쟁이 한창인 청색, 백색 LED는 스펙트럼, 응답속도, 광효율 등의 특성에 있어서 레이저에 미치지 못한다. 본 연구실의 원천특허 기술인 광양자테(1)(PQR : Photonic Quantum Ring) 레이저는 극소 문턱 전류, 온도 파장 안정성, 편광 제어 기능 등의 고유한 기술적 강점들을 가지고 있어 LED를 대체할 방안을 제시하며, 이미 670nm 적색 PQR 레이저의 경우 현재 상용화 되고 있는 620nm LED(Lumiled, Luxeon LEDs LXHL-PD01) 제품과 비교 (620nm 적색의 시감도 factor 감안) 했을 때, 광도, 광효율, 색순도 등에 있어 PQR 레이저가 월등한 성능을 보임을 확인하였다. 또한 최근 LLO 공정후 사파이어 기판을 제거한 GaN LED wafer를 사용해 480 nm 파장대의 수직형 청색 PQR 레이저를 제작, 이를 보고하도록 하겠다.

현재 상용화중인 LED의 경우 FWHM(Full width at half maximum)이 약 25nm 정도로 매우 broad한 반면, PQR 레이저(메사 직경 : 7um)는 그림 1과 같이 각각의 sub mode들이 0.1nm linewidth에 근접하고 있다. PQR 레이저의 낮은 문턱전류와 각각의 sharp한 모드들이 LED보다 적은 전력을 소모하면서도 비슷한 밝기를 내도록 하는 것이다. 그림 2.(a)는 직경 10 um, 주입 전류 24 uA에서 발진하는 적색 PQR 레이저의 CCD 이미지이며, 테두리에서 나오는 빛이 유도 방출(stimulated emission)에 의해 발진하는 PQR 레이저이고 가운데에서 나오는 빛이 자발 방출(spontaneous emission)에 의해 발광하는 LED 이다. 같은 주입 전류에서 PQR 레이저의 extraction efficiency가 월등히 높음을 알 수 있다. 그림 2.(b)는 상용화 적색 LED와 256 적색 PQR 레이저 (직경 7 um)의 광도 및 광효율 특성을 비교한 그래프이다. 상용화 LED가 정격 전류 20mA에서 광도가 100mcd 인 반면, 256 적색 PQR 레이저는 153mcd 로 약 1.5 배 높음을 알 수 있다. 광효율 역시, 상용화 LED는 40~50 lm/W 인 반면, 256 적색 PQR 레이저는 93.6 lm/W로 약 2 배 이상의 광효율을 보임을 알 수 있다. 또한 PQR 레이저는 유도 방출에 기인한 거의 1에 가까운 높은 색순도를 보이며, 다파장 발진 특성으로 인해 LED에 버금가는 (134° ~146°) 시야각을 자랑한다.



(a)

(b)

그림 1. 직경 7um PQR 레이저의 스펙트럼

그림 2. Photometric characteristics (PQR vs LED)

PQR 레이저는 소자 테두리의 낮은 굴절률 경계면에 의한 whispering gallery (WG) 모드와 상하 수직 공진 모드가 더해진 3차원 Rayleigh Fabry-Perot (RFP) WG 레이저로서, 본 연구실에서는 최근 상용화된 GaN LED wafer의 사파이어 기판을 제거한 후, 상하 반사막 구조를 입혀 청색 PQR 레이저를 제작해 보았다.

그림 3은 사파이어 바닥 표면을 PI (Polyimide)로 coating 한 후, 바닥에 metal mirror(Ag)를 증착시키고, top mirror로 dielectric DBRs(SiNx/SiO<sub>2</sub>)를 형성했을 때의 microcavity 구조와 CCD image 이다. 주입전류는 셀 당 0.78uA로 매우 적은 전류 값에서 강한 emission을 확인할 수 있었지만 아직 PQR 테두리의 명확한 구분은 나타나지 않았다. PQR 링의 강한 발진을 얻기 위해 Al<sub>0.24</sub>Ga<sub>0.76</sub>N/GaN으로 20 pairs<sup>(2)</sup> 적층시킨 n-DBR을 기른 에피를 사용해 실험을 진행한 결과, 그림 4와 같이 기존의 blue LED에 비해 상하 수직 공진 모드에 의한 PQR 링의 강한 emission을 확인할 수 있었다.

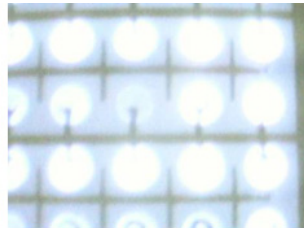
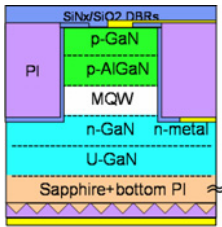


그림 3. Coated 사파이어 wafer를 사용한 blue PQR array (I=0.78uA/cell).

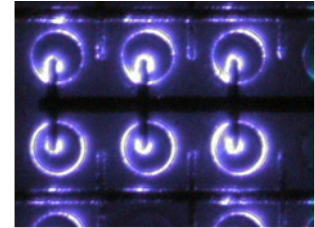
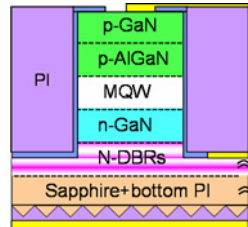


그림 4. Al<sub>0.24</sub>Ga<sub>0.76</sub>N/GaN DBR을 20 pairs 기른 wafer를 사용한 blue PQR array (I=8.59uA/cell).

하지만 아직 국내에서 GaN 에피는 crack 문제 등 기술 미비로 인해 완벽한 DBR 층을 확신할 수 없는 실정이다. 또한 사파이어 층의 낮은 열전도도는 열화문제를 발생시켜 고출력, 대면적 소자로의 적용에 문제를 일으킨다. 이에 최근 KOPTI로부터 LLO를 사용해 사파이어 기판을 제거한 GaN wafer를 확보하여 실험을 진행하였으며 그림 5에 스펙트럼 및 CCD image를 나타내었다. LLO 후 p-GaN 위로 반사막을 형성한 후, n-GaN 위로 dielectric DBRs를 형성해 8x8 PQR 어레이를 제작하였다. CCD image에서 보는 것과 같이 PQR 링의 강한 발진을 확인할 수 있었으며 sharp한 스펙트럼 또한 확인할 수 있었다.

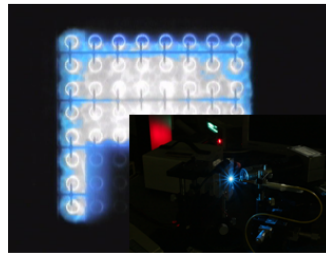
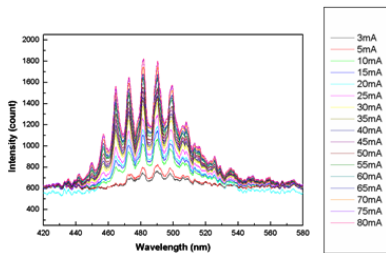


그림 5. LLO 공정후 사파이어 기판을 제거한 GaN wafer 상하로 반사막 및 dielectric DBRs를 적층시킨 8x8 blue PQR array의 스펙트럼 및 CCD image.

### 참고문헌

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). Y. C. Kim, J. H. Baek, T. Jeong, S. S .Kim, Y. H. Jang and O'Dae Kwon, DSSL '08 T-5-5 (2008).
2. X.H.Zhang, S. J. Chua, W. Liu, L.S.Wang, A.M.Yong and S. Y. Chow, Appl. Phys. Lett. Vol. 88, 191111 (2006).