

광양자테 레이저의 디스플레이 응용을 위한 스펙트럼 특성

Spectral properties of Photonic Quantum Ring Laser for display applications

정태섭, 안성재, 김동권, 윤준호, 김광해, 이승은, 권오대
 포항공과대학교 전자전기 공학과
 E-mail : tsjung98@postech.ac.kr

PQR (Photonic Quantum Ring) 레이저는 VCSEL 구조와 비슷한 마이크로 디스크 레이저의 형태를 가지고 있다. 그러나 PQR 레이저는 Quantum Wire한 특성을 가지기 때문에 수 μA 급의 극소 문턱 전류로 동작할 수 있을 뿐만 아니라, 온도에 따른 파장의 천이 또한 온도의 제곱근에 비례한다는 특성을 갖는다. 이러한 스펙트럼 특성은 PQR 레이저가 3 차원 Rayleigh-Fabry-Perot (RFP) 공진기 레이저임을 알게 해준다. 이전에 발표했던 논문에서 이미 PQR 레이저의 각도 의존성 특성과 모드간의 간격의 선형적인 변화를 기술하였고, torus knot 모델과 3D RFP 공진기 모델을 이용해 PQR 레이저의 스펙트럼 특성을 분석하였다.⁽¹⁻³⁾ 본 연구에서는 디스플레이 응용을 위해 PQR 레이저의 스펙트럼 특성을 알아보고, 또한 같은 직경의 RCLED (Resonance Cavity Light Emitting Diode)를 제작하여 스펙트럼 특성을 비교하였다.

PQR 레이저의 매우 낮은 문턱 전류 특성과 sharp한 다중 모드의 특성은 좀 더 낮은 전력 소모를 가능하게 한다. 그 이유는 몇 개의 sharp한 모드들의 합은 LED 스펙트럼의 넓은 대역폭을 대체 할 수 있기 때문이다. 다음 식은 LED와 PQR 레이저가 같은 휘도를 낸다고 가정할 때, 각각의 소비 전력의 비는 다음과 같이 식으로 나타낼 수 있다.

$$R = \frac{I(LED)}{I(PQR)} \times \frac{FWHM(LED)}{\sum_n FWHM_n(PQR)} \cong \frac{I(LED)}{I(PQR)} \times \frac{FWHM(LED)}{n \times FWHM(PQR)}$$

($I(LED)$, $I(PQR)$) = LED와 PQR의 소비 전력, n = PQR 레이저의 모드의 수)

본 연구에서는 실험적으로 LED와 PQR의 스펙트럼의 차이를 보기 위해 직경 30 μm 의 같은 size의 PQR 레이저 및 그와 같은 공진기 구조를 가지며, p-DBRs (Distributed Bragg Reflectors)를 15층 제거한 RCLED를 제작하여 그 스펙트럼을 비교하였다. RCLED는 마이크로 공진기에서 빛이 자발 방출되는 LED의 일종으로 공진 효과를 이용하기 때문에 기존의 LED와 비교했을 때, 휘도 면이나, 대역폭 면에서 훨씬 나은 특성을 보이고 있다.⁽⁴⁾ 그림 1은 Fig 2.(a)는 PQR 레이저와 RCLED의 각각의 스펙트럼이다. 그림에서 알 수 있듯이, PQR의 수 개의 sharp한 모드들의 합이 RCLED 스펙트럼의 넓은 대역폭을 대체 할 수 있기 때문에, 같은 주입 전류 ($I = 5.4 \text{ mA}$)에서 PQR 레이저가 보다 큰 intensity를 가짐을 보여준다. 또한 PQR의 경우 0.1nm의 linewidth를 갖는 반면, RCLED의 경우는 약 3.4nm의 넓은 linewidth를 가져, 34배 정도의 차이로 전력 소모 면에서도 효율이 보다 좋은 것을 알 수 있다.

그림 2는 디스플레이 응용을 위하여 보다 낮은 전력 소모를 위하여 제작한 직경 = 7, 10, 15 μm PQR 레이저의 스펙트럼이다. 그림에서 알 수 있듯이, 소자의 직경이 작아짐에 따라 모드간의 간격이 증가하고 모드의 수가 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서 소자의 직경을 조절함으로써 발진 모드의 수를 제어하여 전력 소모를 줄일 수 있을 것이다.

PQR 레이저는 매우 낮은 문턱 전류를 가지고 있는 레이저로, 여러 개의 sharp한 모드들이 존재하는 스펙트럼 상의 특성으로 인해 기존의 상용화되는 LED를 대체할 수 있을 것이다. 실험적으로 LED와 PQR 레이저를 비교하기 위해 같은 직경의 PQR과 RCLED를 제작하고 스펙트럼을 비교하였다. 또한, 디스플레이 응용을 위하여 15 μm 이하의 소자를 제작하고 그 스펙트럼 특성을 분석하였다.

참고문헌

1. J. C. Ahn, K. S. Kwak, B. H. Park, H. Y. Kang, J. Y. Kim, and O'Dae Kwon, Phys. Rev. Lett., **82**, 536 (1999).
2. B. H. Park, J. Bae, M. J. Kim, and O'Dae Kwon, Appl. Phys. Lett., **81**, 580 (2002).
3. J. Bae, J. Lee, O'Dae Kwon, and V. G. Minogin, Opt. Lett. **28**, 1861 (2003).
4. E. Fred Schubert, *Light-Emitting Diodes*, (Cambridge University Press, Cambridge, 2003)

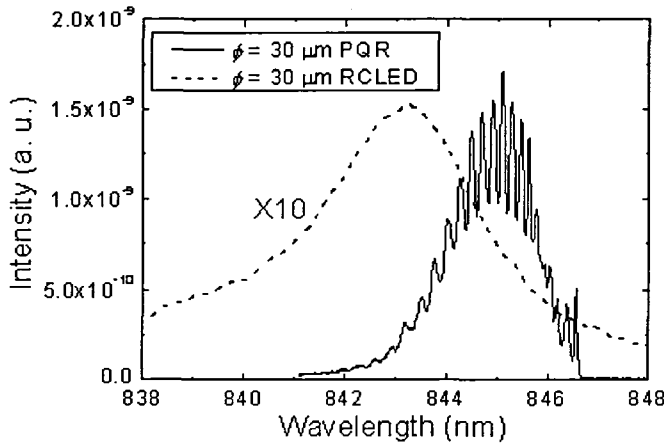


그림 1. 직경 30 μm 의 PQR 레이저와 RCLED의 스펙트럼.

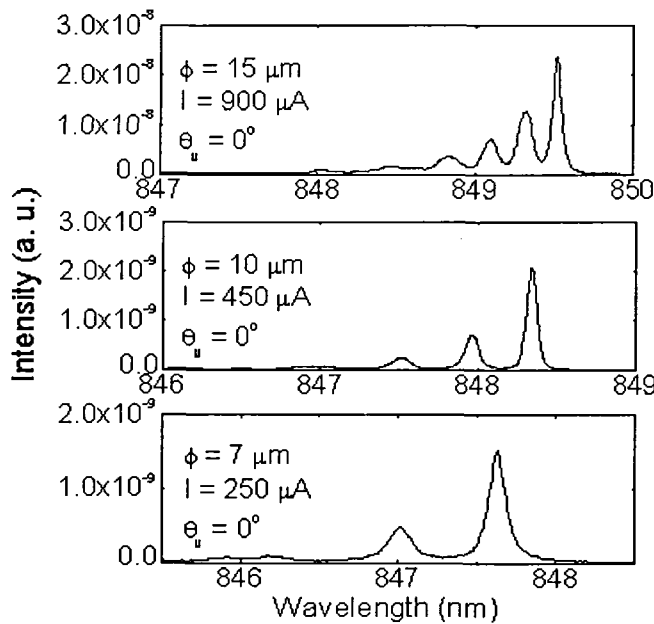


그림 2. 직경 7, 10, 15 μm PQR 레이저의 스펙트럼.

FE