

위스퍼링-갤러리 안티-모드를 가지는 광양자데 홀의 스펙트럼 분석

Spectral Characterizations of Photonic Quantum Ring Hole with Anti-Whispering Gallery Mode

이승은, 김무진, 안성재, 김동권, 권오대
포항공과대학교 전자전기공학과
e-mail : odkwon@postech.ac.kr

PQR (Photonic Quantum Ring) 레이저는 양자선 특성을 가지기 때문에 수 μm 급의 극소 문턱 전류로 동작할 수 있을 뿐만 아니라, 온도에 따른 파장의 천이 또한 온도의 제곱근에 비례하여 높은 동작 온도에서 파장의 안정화도 가능하여 대용량의 정보 처리를 위한 광집적 회로에 필요한 광원과 광변조 능력을 동시에 가지고 있는 광소자로서 연구되어져왔다.[1] 이러한 PQR 레이저는 toroidal Rayleigh-Fabry-Perot 공진기에서 전반사에 의해 광자가 구속되어 3차원 WGM (Whispering Gallery Mode)로 발진되어진다.[2] 그리고 PQR의 생성은 반도체에서의 PQCE (Photonic Quantum Corral Effect)로 설명할 수 있으며, 그 emission은 그림 1과 같이 angular quantization rule에 의한 다파장 발진 특성을 가진다.[2, 3]

본 연구진은 최근 hollow PQR과 PQR hole (reverse-mesa) 실험을 통해서 anti-WGM형 PQR emission을 발견하였다. 그림 2에서 보는 바와 같이 inner boundary spectrum (a)이 outer regular PQR spectrum (b)과 다르게 나오는 것을 볼 수 있었고, 그림 3(a)와 같이 만든 hole에서는 각도에 따른 emission 스펙트럼 (그림 3(b))을 측정할 수 있었다. 기존의 WGM이 전반사가 일어날 수 있는 concave한 면에서만 적용할 수 있는 반면, 홀에서의 emission은 놀랍게도 convex한 면에서 일어나며, 이는 홀에서의 gain-guiding에 의한 PQCE 현상으로 생성된 PQR로 설명할 수 있을 것이다.[4]

또한, 본 연구에서는 같은 방법으로 8x8 PQR 홀 어레이를 제작하여 그 특성을 분석하였다. 그림 3은 직경 15 μm , 소자 간격 100 μm 인 8x8 PQR 홀 어레이에서의 emission image이다. 홀 어레이에서도 단일 홀에서와 같은 emission을 확인할 수 있었으며, 소자에 carrier가 공급되는 p-전극으로부터의 거리가 멀수록 스펙트럼 상의 픽의 크기는 점진적으로 감소하지만 매우 균일한 emission을 얻을 수 있었다. 이러한 광양자데 홀의 쉽고 간단한 제작 방법은 이를 이용한 고집적 광접속 응용 분야에 큰 잠재성을 가지고 있다.

참고 문헌

- [1] "Photonics quantum ring", 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] "Spectrum of three-dimensional photonic quantum-ring microdisk cavities: comparison between theory and experiment", J. Bae, J. Lee, O'Dae Kwon, and V. G. Minogin, Opt. Lett. **28**, 1861 (2003).
- [3] "Chiral wave propagation manifold of the photonic quantum ring laser", B. H. Park, J. Bae, M. J. Kim, and O'Dae Kwon, Appl. Phys. Lett. **81**, 580 (2002).
- [4] "A New Quantum Ring Emitter of Anti-Whispering Gallery Modes", O'dae Kwon, M. J. Kim, S.-J. An, S. E. Lee, D. K. Kim, Los Alamos Archives, Physics, No. 0405001; 19th ISLC (submitted, Japan, 9/20/2004).

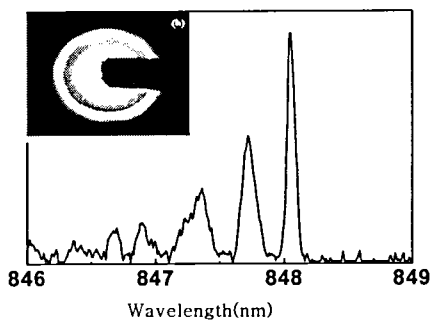


Fig. 1. Spectrum of PQR laser (diameter, $\phi = 10 \mu\text{m}$) measured in normal direction at $I = 800 \mu\text{A}$; spectral linewidth, FWHM = 0.055 nm. The inset shows the CCD image of a PQR laser (diameter, $\phi = 10 \mu\text{m}$) at $I=10\mu\text{A}$.

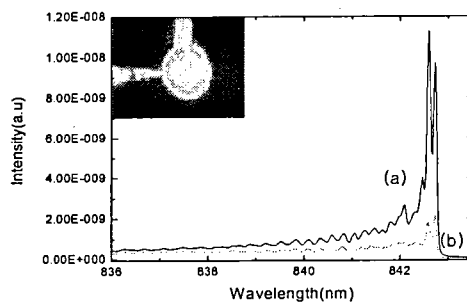
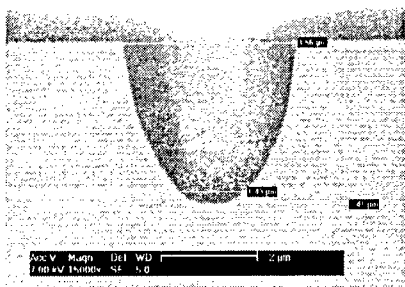
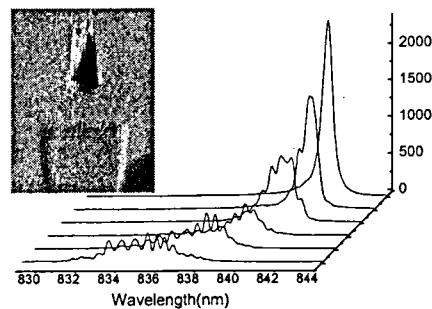


Fig. 2. Emission spectra from (a) the inner hole ($\phi = 5 \mu\text{m}$) and (b) outer PQR ($\phi = 25 \mu\text{m}$) at $I=3.9 \text{ mA}$. The inset shows the CCD image of a hollow PQR with a tapered fiber probe at $I = 17 \mu\text{A}$ pointing to the inner hole.

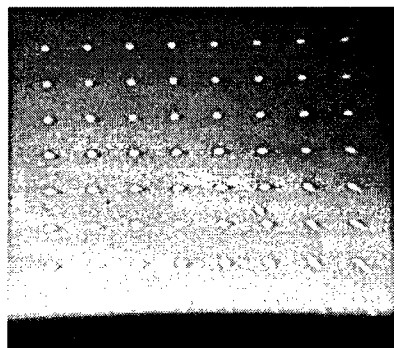


(a)

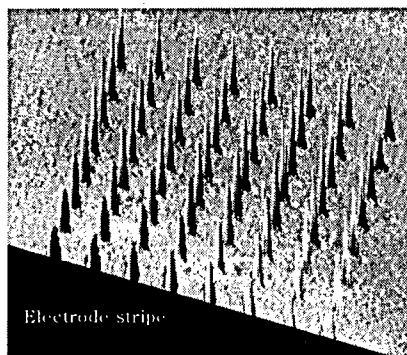


(b)

Fig. 3. (a) SEM image of a PQR hole cross section ($\phi = 1.43 \mu\text{m}$) and (b) angle-dependent emission spectra of a single PQR hole ($\phi = 6 \mu\text{m}$) at $I = 100 \text{ mA}$ (The view angles are $0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ,$ and 25° from the right, respectively). The inset shows a emission intensity profile emitted from a PQR hole at $I=4 \text{ mA}$.



(a)



(b)

Fig. 4 (a) CCD image and (b) emission intensity profile from the 8X8 array of $15 \mu\text{m}$ diameter PQR holes at $I = 10 \mu\text{A}$.