

볼록 광양자테 홀의 스펙트럼 분석

Spectral Characterizations of Convex-Photonic Quantum Ring Hole

이승은, 안성재, 김무진, 김영천, 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 연구되어져 왔다^[1, 2]. 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 발진된다^[3].

본 연구진은 메사형 뿐만 아니라 역메사형 홀에서 convex-WGM 형태의 PQR emission을 관찰하였다^[4]. 그림 2는 convex-WGM PQR 홀에서 방출되는 전형적인 emission과 spectrum을 나타낸다. 이는 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. 그림 3은 convex한 PQR의 홀 직경에 따른 스펙트럼 변화를 기존의 concave한 면에서 일어나는 mesa형태의 PQR의 스펙트럼과 비교하였다. 기존의 메사형의 PQR 레이저가 angular quantization 규칙을 따르는 것^[3]과는 달리 PQR 홀은 각도에 의존하지 않는 모드간격을 보이는 한편, 지금까지의 스펙트럼 조사 결과로는 약 $30 \mu\text{m}$ 의 임계 직경에 해당하는 모드 간격이 실제 홀 직경과 무관하게 나타난다.

또한, 고집적 광접속 응용분야를 위한 연구로써 PQR 홀 어레이를 제작하여 그 특성을 분석하였다. 그림 4는 Ω mega chip 개발을 위한 시도 중, 직경 $8 \mu\text{m}$, 소자 간격 $20 \mu\text{m}$ 인 64k PQR 홀 어레이의 emission의 CCD image이다. 홀 어레이에서도 단일 홀에서와 마찬가지로 emission을 확인할 수 있었을 뿐만 아니라, 매우 고집적화된 균일한 emission을 얻을 수 있었다. convex 혹은 concave한 PQR Ω mega chip들의 제작은 고집적 광접속, 광스위칭 뿐만 아니라 bio-chip 혹은 광트래핑을 이용한 생물학적인 응용을 위하여 개발 중에 있다.

참고 문헌

- [1] J. C. Ahn, K. S. Kwak, B. H. Park, H. Y. Kang, J. Y. Kim, and O'Dae Kwon, "Photonics quantum ring", Phys. Rev. Lett. **82**, 536 (1999).
- [2] B. H. Park, J. Bae, M. J. Kim, and O'Dae Kwon, "Chiral wave propagation manifold of the photonic quantum ring laser", Appl. Phys. Lett. **81**, 580 (2002).
- [3] J. Bae, J. Lee, O'Dae Kwon, and V. G. Minogin, "Spectrum of three-dimensional photonic quantum-ring microdisk cavities: comparison between theory and experiment", Opt. Lett. **28**, 1861 (2003).
- [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).

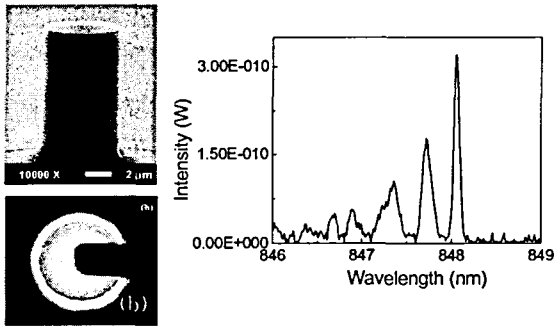


Fig. 1 (a) The SEM micrograph of the PQR mesa, (b) The CCD image of the PQR laser at an injection current $I=10 \mu\text{A}$, (c) The PQR laser ($\phi=10 \mu\text{m}$) spectrum measured in normal direction at $I=800 \text{ A}$.

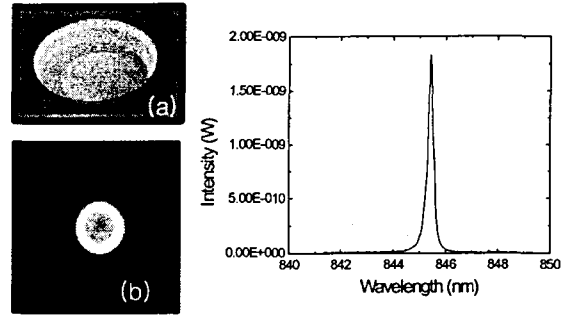


Fig. 2 (a) The SEM micrograph of PQR reverse mesa, (b) The CCD image of the PQR hole at $I=15 \mu\text{A}$, (c) The PQR hole ($\phi=12 \mu\text{m}$) spectrum measured in normal direction at $I=5 \text{ mA}$

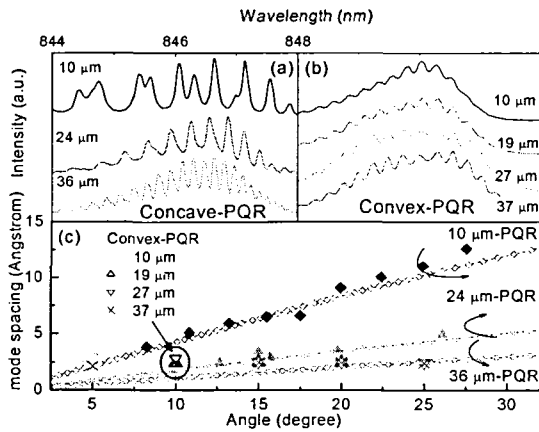


Figure. 3 Quantum ring spectra and intermode spacings. (a) PQRs of $\phi=10, 24, 36 \mu\text{m}$. (b) PQR holes of $\phi=10, 19, 37 \mu\text{m}$, (c) Angle-dependent nonuniform spacing data and theoretical curves for the above PQRs vs. uniform spacings for the above PQR holes of $\phi=10$ (circle), 19 (triangle), 37 (cross) μm with the spectra taken with a tapered fiber probe of $2 \mu\text{m}$ tip size.

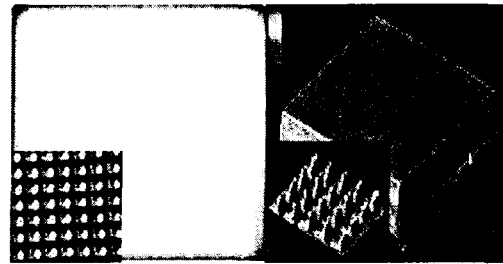


Fig. 4 The CCD images and surface profile of 64k PQR hole chip, $\phi=8 \text{ m}$, $I=1 \text{ A}$ ($I=15.3 \mu\text{A}/\text{cell}$), and The inset of magnified ($\times 600$) CCD image.

F
D