

광양자테 레이저의 선폭 특성

Linewidth characteristics of the PQR Lasers

*김종삼, 김준연, 반노익, 임권섭, 류유신, 배중우, 권오대
 포항공과대학교 전자전기공학과
 joskim@postech.ac.kr

Abstract

We measured the linewidth (FWHM) changes of the PQR laser against the diameter of the devices and the injection currents. We report the linewidth narrowing with increasing the PQR currents. A rough estimate of the line width behavior shows an inverse proportionality to the cavity length. The spectrum of 3/4 circle cavity PQR laser is reported for the first time as well. The spectrum looks slightly different from that of the full circle device due to the structural distortion.

PQR 레이저는 원대칭성에 의한 편광부재, 극소 구동 전류(수 μA 급) 및 온도 상승에 따른 파장의 안정 특성을 가지고 있어 고집적 어레이 제작이 가능하여 차세대 display 소자, 광통신 및 광변조 기술의 핵심 소자로서의 잠재성을 보유하고 있다[1]. Microdisk에서 형성되는 Whispering Gallery 효과와 evanescent 모드의 propagation 특성을 이용하는 PQR 레이저는, 식각된 메사의 모양과 표면의 균일성에 따라 발진모드의 scattering 정도가 영향을 받으므로[2], 다양한 형태의 소자에 대한 발진 특성을 분석함으로써 소자의 광학적 특성을 결정하는 요소들과의 상관관계를 밝혀, 제작시 파장을 비롯한 기타의 요소를 선택적으로 제어할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 원형 PQR laser 소자의 linewidth narrowing 특성과 3/4원(270° 꺾임) 형태로 제작한 소자에서 관찰한 발진 스펙트럼의 특징을 소개하고자 한다.

연구에 사용된 소자는 GaAs/AlGaAs Quantum Well의 VCSEL 구조로 성장한 마이크로 디스크를 이용하여 제작한 것이다. 에피의 구조와 Chemically Assisted Ion Beam Etching(CAIBE)을 이용한 소자의 제작기법 및 공정에 대한 내용은 참고문헌 [3]에서 상세하게 언급하였다.

Linewidth narrowing을 관찰하기 위해 지름 7, 9, 10, $12\mu\text{m}$ 크기의 소자들에 대해 주입전류를 변화시키면서 dominant한 피크의 선폭(FWHM)을 측정하여 그 결과를 그림 1(a)에 나타내었다. 소자의 지름에 따라 관찰된 선폭이 차이가 나는 것은, 소자의 지름과 Whispering Gallery 모드의 cavity 길이는 비례하는 반면, 일반적으로 cavity 길이와 선폭은 서로 반비례하고[4], 또한 각 소자의 메사 표면 거칠기가 동일한 경우, 지름이 작은 소자에 대한 상대적인 표면 거칠기가 크기 때문에 지름이 작은 소자가 동일한 주입전류밀도에서 선폭이 넓은 것으로 분석된다. 주입전류를 증가함에 따라 선폭이 감소하는 현상은 모든 소자에서 관찰되었고, 그림 1(b)에서와 같이 $12\mu\text{m}$ 소자의 경우 주입전류 밀도가 $708 \text{ A/cm}^2(800\mu\text{A})$ 에서 선폭이 약 0.57 \AA 까지 발전하는 것을 관찰 할 수 있었으며, 더 이상의 전류에서는 VCSEL 모드의 발진가능성 때문에 측정하지 않았다. 선폭이 감소하는 기울기는 소자의 크기에 따라 다르게 관찰되었는데, 소자 지름이 증가함에 따라 그 기울기는 작아지는 경향을 발견할 수 있다.

원통형의 메사를 이용하여 제작한 PQR 소자의 특성과, 규칙성을 가진 구조상의 왜곡을 줌으로써 원형 대칭성이 깨어진 메사를 이용하여 제작한 소자의 광학적 특성을 비교하면 PQR 공진기의 물리적 현상을 이해하는 근거가 될 수 있을 것이다. 그림 2의 (a)는 지름 $15\mu\text{m}$ 의 원형 메사로 제작한 PQR 소자에 $10 \mu\text{A}$ 의 전류를 주입한 상태의 근접장 사진이고, (b)는 지름 $30\mu\text{m}$ 의 원형에서 3/4원 만을 남기고(270° 꺾임) 식각한 메사로 제작한 PQR 레이저의 근접장 사진이다. 원형메사의 경우와 마찬가지로 3/4원 메사의 테두리를 따라 밝게 빛나는 PQR이 관찰된다. 이는 복잡한 구조의 메사 옆 표면을 따라 Rayleigh band cavity

가 형성되는 것을 의미한다. 그림3의 (a)는 지름 15 μm 의 원형 소자에 400 μA 의 전류를 주입하면서 발진하는 스펙트럼이며, (b)는 동일한 크기의 3/4원 소자에 동일한 크기의 전류를 주입하면서 측정된 스펙트럼을 비교한 것이다. 3/4원 소자의 발진 스펙트럼은 micro-cavity의 구조가 더 복잡하여 원통형 메사의 소자와는 약간 다른 형태를 갖는 것을 볼 수 있다. 원형 PQR 레이저의 스펙트럼 모드가 일정한 규칙성을 보이는 반면, 3/4원 레이저는 규칙성이 떨어지는 것으로 관찰되는데, 이는 메사의 형태를 따라 구성되는 Rayleigh band cavity에 구조적으로 1/4원 만큼의 왜곡이 발생하여 전체 길이가 길어졌으며, 에칭과정에서 식각되는 1/4원 부분의 메사 표면이 다른 부분보다는 거칠어짐으로써 구조적인 대칭과 거칠기의 대칭이 깨어진 것이 원인일 것으로 판단된다.

3/4원 공진기의 발진 원리 근거와 관련된 특성 데이터 및 세부적인 분석 결과들은 따로 보고될 예정이다.

[참고문헌]

- [1] "Photonic quantum ring", 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.
- [2] "The evanescent and propagating wave characteristics of the photonic quantum ring laser", B. H. Park, J. C. Ahn, J. Bae, J. Y. Kim, M. S. Kim, S. D. Baek, O'Dae Kwon, Appl. Phys. Lett.(to be published).
- [3] "Fabrication of Photonic Quantum Ring Laser using Chemically Assisted Ion Beam Etching", J. Y. Kim, K. S. Kwak, J. S. Kim, B. K. Kang, and O'Dae Kwon, J. Vac. Sci. Tech. B. (to be published).
- [4] "Spectral linewidth in microcavity surface-emitting lasers", Igor Vurgaftman and Jasprit Singh, Appl. Phys. Vol 76, pp, 5636-5639, 1994.

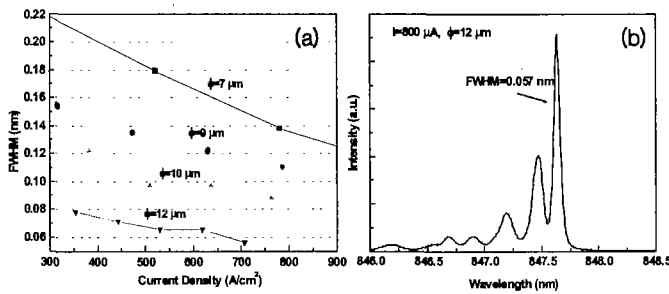


그림 2. (a)소자 크기별 주입전류 변화에 따른 FWHM 변화. (b)지름 12 μm 의 소자에 800 μA 의 전류를 주입하면서 측정된 0.57 \AA 선폭의 스펙트럼

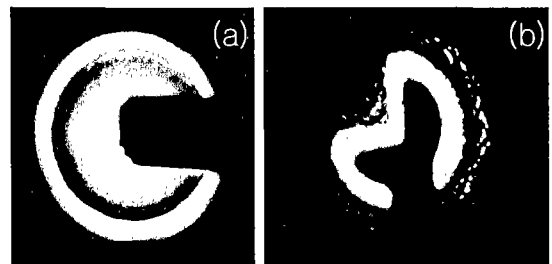


그림 3. 원형 PQR 소자(a)와 원통형에서 1/4원을 에칭하여 잘라낸(270도 꺾임) 메사로 제작한 소자 (b)의 근접장 사진

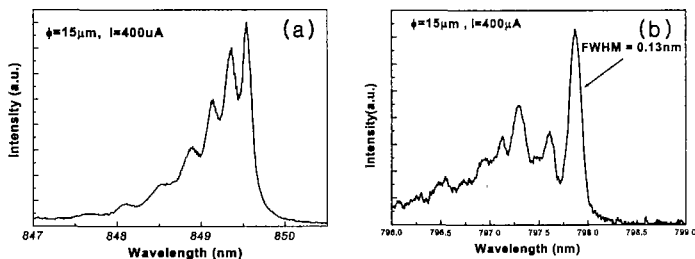


그림 3. 지름 15 μm 의 원형소자(a)와 3/4원 소자(b)에 400 μA 의 전류를 주입하면서 측정된 스펙트럼

ED