

Non-VCSEL 형 InGaAs 광양자테 레이저

Non-VCSEL type InGaAs Photonic Quantum Ring Laser

최선미, 박병훈, 박규섭, 박동훈, 권오대
 포항공과대학교 전자전기공학과
 sasak@light.postech.ac.kr

기존의 vertical-cavity-surface emitting laser(VCSEL)⁽¹⁾의 활성 microdisk⁽²⁾의 주변 테두리를 따라 형성되는 광양자테(PQR) 레이저가 시각도 의존성과 μA 급 문턱전류, 피크 파장의 \sqrt{T} 의존성⁽⁴⁾⁽⁵⁾등 quantum-wire와 비슷한 특성을 나타낸다. 본 논문에서는 InGaAs/GaAs 반도체를 활성층으로 하는 PQR 레이저를 제작하고, 그 특성을 측정·분석하였다. InGaAs PQR 레이저의 에피는 molecular beam epitaxy(MBE)로 성장 시킨 것인데(Bell Lab.) 그 구조는 다음과 같다. n+ GaAs 기판위에 $0.1\mu\text{m}$ n-GaAs 버퍼층(Si 도핑 : $n=3\times 10^{18}/\text{cm}^3$) 및 Si 도핑된 n 형 AlAs/Al_{0.56}Ga_{0.44}As/Al_{0.2}Ga_{0.8}As/Al_{0.56}Ga_{0.44}As distributed Bragg reflector(DBR)를 성장 시킨 후, 3쌍의 In_{0.2}Ga_{0.8}As/GaAs 다층 양자 우물을 70Å/200Å의 활성층으로 성장시키고, 그 위에 Be-doped p형 AlAs/Al_{0.56}Ga_{0.44}As/Al_{0.2}Ga_{0.8}As /Al_{0.56}Ga_{0.44}As DBR 그리고 $0.2\mu\text{m}$ p+형 GaAs cap층(Be 도핑 : $p=2\times 10^{19}/\text{cm}^3$)을 성장시킨 형태이다. 그림 1은 상기 에피 결정 구조의 웨이퍼를 아래와 같은 4가지 공정 과정을 거쳐 제작한 소자의 단면(직경(ϕ) = 24, 36, 48 μm)을 보여준다. 먼저 에피 뒷면에 AuGe/Ni/Au 순서로 n 형 금속을 증착시킨 후, chemically assisted ion beam etching(CAIBE)으로 메사를 형성하기 위해 약 $4.3\mu\text{m}$ 깊이로 식각시켰고, polyimide로 평탄화 과정을 거친 후, 전류 주입을 위해 Cr/Au순서로 p형 금속을 증착시켰다. InGaAs PQR 레이저의 optical power-current 특성 곡선은 상온에서 CW 조건으로 측정하였는데 이미 발표한바 있는 AlGaAs PQR 레이저⁽⁵⁾가 VCSEL과 동시 발진하는 현상과는 다른 결과를 보인다. 즉, 현재의 InGaAs PQR은 에피구조가 VCSEL 발진을 억제하는 형태로서 PQR 발진만 수용하고 있다. 이는 PQR의 응용에서 VCSEL 발진에 따른 PQR 손실을 제거하는 효과를 보인다. 이와 같은 non-VCSEL PQR 현상이 그림 2 및 그림 3에 나타난다. 소자의 출력 power는 thermal effect로 인한 COD와 유사한 현상이 PQR에도 발생함을 보여준다. PQR mode는 측면 산란등으로 인해 다소 퍼진 linewidth($\Delta\nu \sim 0.97\text{nm}$)로 $\theta=0^\circ$ 일 때 976nm에서 발진하였다. 그림 3은 고정된 전류($I=5\text{mA}$)에서 시각도 의존성을 보이는 스펙트럼이다. 광섬유의 시각도(θ)를 0° 에서 75° 까지 15° 간격으로 바꾸었을 때, 피크 파장이 단파장 천이함을 관찰하였으며, 이는 다파장 분할 방식(wavelength division multi plexing : WDM)에 응용할 수 있다. 이 파장 천이는 off-normal Fabry-Perot resonance 피크 파장, λ_c 에 해당되는데, AlGaAs PQR에서처럼 $\lambda_c = \lambda_0[1-(\sin\theta/n)^2]^{1/2}$ 공식⁽⁴⁾과 잘 일치한다. 단, 여기서 λ_0 는 $\theta=0^\circ$ 일 때의 피크 파장이다. 그림 4에서 보듯이 InGaAs PQR 레이저에서도 quantum-wire인 특성인 \sqrt{T} 의존성이 나타나 온도에 거의 무관하다. 기존의 InGaAs VCSEL 레이저의 온도 변화 상수는 $4\sim 5 \text{ A}/^\circ\text{C}$ ⁽³⁾를 갖는데 반해, InGaAs PQR 레이저는 $0.31 \text{ A}/^\circ\text{C}$ 정도였다. 결론적으로 이번 연구에서는 non-VCSEL 형 InGaAs PQR 레이징 모드와 시각도에 의존하는 피크 천이 그리고 기존의 VCSEL 구조에서 온도에 거의 의존하지 않는 피크 파장 특성을 조사하였다.

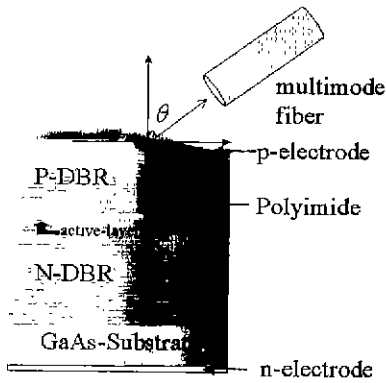


그림 1 InGaAs PQR 레이저의 도식 예 피 단면의 SEM 사진에 시각도가 상의됨.

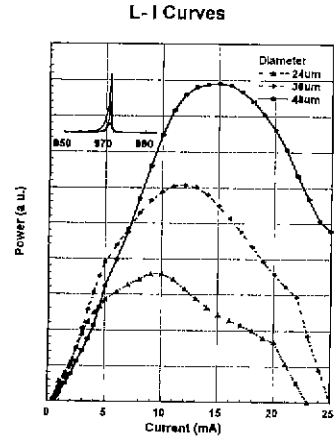


그림 2. InGaAs PQR 레이저의 Light-current Curve

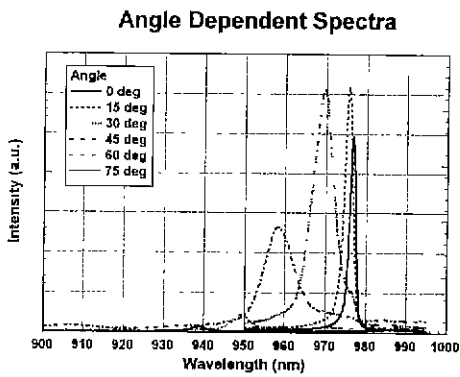


그림 3 InGaAs PQR 레이저의 피크 파장의 시각도 의존성. 전체 변화 범위는 38nm임

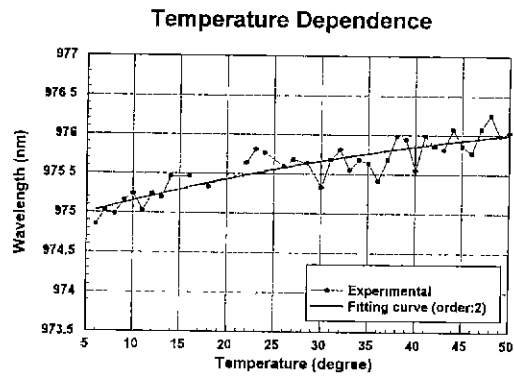


그림 4. InGaAs PQR 레이저에서 피크 파장의 온도 의존성 전체 변화는 1.4nm 정도임.

[참고 문헌]

- [1] H.Deng, Q.Deng and D.G.Deppe, "Native-oxide laternally confined whispering -gallery mode laser with vertical emission", Appl. Phys. Lett., 69, pp3120 (1996)
- [2] T.baba, "Photonic crystal and Microdisk cavities based on GaInAsP-InP system", IEEE J.Sel.Topic. Quant. Electron., 3, pp808 (1997)
- [3] Peter S. Zory, Jr., "Quantum Well Lasers", pp190-216 (1993)
- [4] J.C.Ahn, H.Y.Kang and O'Dae Kwon, "Angle-dependent multiple-wavelength radial emission in a toroidal microcavity", Pro.SPIE/Optoelec.'98, pp3283 (1998)
- [5] K.S.Kwak, J.C.Ahn, B.H.Park, J.Y.Kim, and O'Dae Kwon, "A photonic quatum ring feature in a microcavity structure", ISCS'98, 12-16, Oct., Nara Japan (1998)

