

Hollow 광양자테 레이저 특성 연구

Characteristics of hollow photonic quantum ring laser

김영천, 김무진, 이승은, 권오대
 포항공과대학교 전자전기공학과
 e-mail : phobos@postech.ac.kr

메사 형태의 광양자테 (concave photonic quantum ring) 레이저는 상하로 p-DBR과 n-DBR에 의해 평면으로는 디스크 외부와의 큰 굴절률 차이로 인해 $1-\lambda$ 활성층의 가장자리에서 자연적으로 발생하는 Rayleigh band 내에 구속된 광파들이 helical light wave 형태로 전반사를 통하여 형성된 3차원 whispering gallery 레이저이다.^(1,2) 하지만, 최근에 이와는 다른 형태, 즉 negative mesa type (convex-WG PQR) 을 제작한 소자로부터 hole 부분에서 발광이 일어나는 것을 관찰하였다.⁽³⁾

concave와 convex-WG PQR 소자는 다른 형태의 공진기지만 multi-chromatic 스펙트럼, 측정 각도에 따른 파장 이동 등 비슷한 특성을 나타낸다. 실린더형 메사 PQR 레이저에 convex-WG PQR 레이저처럼 가운데 부분이 식각된 마이크로 링 공진기와 유사한 모양을 가진 hollow 광양자테 레이저를 건식 식각 방법을 이용하여 제작하였다.

가장 자리의 메사 지름이 무한대로 가면 이는 convex PQR과 같게 되며, 반대로 안에 형성된 hole의 지름이 0으로 가면 메사 형태가 된다. 이를 통해 hollow 레이저는 convex와 concave 특성을 모두 가질 수 있음을 예단할 수 있다. 바깥 지름/안쪽 지름이 각각 45/25, 42/2, 40/30, 35/25, 25/15 μm 등의 다양한 hollow 레이저를 제작하였다. 소자의 schematic diagram을 나타낸 그림 1(a)와 같이 가장자리에서 공진하는 concave 형은 활성층 영역 위 아래로 반사율이 거의 100%에 가까운 DBR들 사이에 삽입되어 있고 활성층 평면으로는 메사에 의해 굴절률 차가 큰 GaAs 계 활성층과 polyimide의 경계를 이루며, 안으로는 PQR 영역의 폭 Rayleigh bandwidth에 의해 정의된 영역내에서 생성된 PQR manifold들은 시계 방향과 반 시계방향의 나선형 진행파를 이루어 백터 합성으로 방사형 출력을 가지게 된다. Convex에서의 PQR 모드가 형성되는 활성층 영역은 DBR들 사이에 있고 평면으로는 활성층과 polyimide의 경계를 이루며, 안으로는 gain guiding에 의해 Rayleigh bandwidth 와 유사한 W 로 정의된 영역내이다. 그림 1(b)에 보인 바와 같이 이러한 band들 내에서는 PQCE (Photonic Quantum Corral Effect) 에 의한 carrier ordering이 일어난다.

소자의 발진 특성을 보기 위해 주입 전류의 양에 따른 근접장 측정을 하였으며, 그 결과가 그림 2에 있다. 3시 방향의 전극은 소자의 원형 메사 테두리와 안에 형성되는 toroid 형태의 공진기로부터 출력을 얻기 위함이다. 그림 2(a)는 바깥쪽 지름이 45 μm , 안쪽 지름이 25 μm 인 hollow 형태의 PQR 레이저에 35 μA 가 흐르고 있는 것을 나타낸다. 안쪽은 hole 소자와 비슷한 공진 조건으로 ring이 형성되며, 테두리에는 메사에서 형성된 것과 유사한 공진으로 또 하나의 ring이 존재하는 것을 볼 수 있다. 전류를 낮추어 2(b)와 같이 6 μA 전류에서도 두 개의 ring이 동시에 있음이 관찰된다. 하지만 크기가 다른 내경 2 μm , 외경 42 μm 인 소자는 그림 3(a)와 (b)에 보는 것처럼 낮은 전류부터 증가시키면 2.5 μA 의 전류가 들어갔을 때 안쪽 영역에서 먼저 밝아짐이 보인다. 이는 앞의 소자와 다른 현상이다. 전류를 더 증가시켜 5 μA 에 이르게 되면 바깥쪽 영역도 밝아진다. 내경과 외경의 차이가 큰 소자에서 관찰되는 이러한 현상으로부터 두 ring이 독립적으로 존재한다는 것을 알 수 있다. 그림 4는 내경은 5 μm , 외경은 25 μm 인 소자에 3.9mA 전류를 주입하여, single mode fiber를 소자 표면의 수직인 방향에서 15도 기울인 각도에서 소자

가까이에 접근하여 측정한 스펙트럼이다. 모든 측정은 상온에서 이루어졌다. 수직 공진 모드를 제외한 안쪽에서 발진한 모드(그림 4(a))와 바깥쪽에서 발진한 모드(그림 4(b))의 위치가 다르다. 스펙트럼이 다르다는 것은 서로 독립적으로 발진이 이루어지는 증거이다. PQR 레이저는 에피 구조상 양자 우물 구조를 포함하고 있으나, 메사 형태의 경우 Rayleigh-band 구속 효과에 의해 hole은 gain guiding에 의해 구속되는 자연 발생적인 quantum wire로 이루어지기 때문이다. 소자의 폭이 좁아진다면 메사 소자의 Rayleigh band와 convex 소자의 폭 W는 서로 연결되므로 독립적으로 공진되던 모드들의 특성이 달라질 수 있으며, 이에 대한 연구는 좀 더 이루어져야 할 것이다.

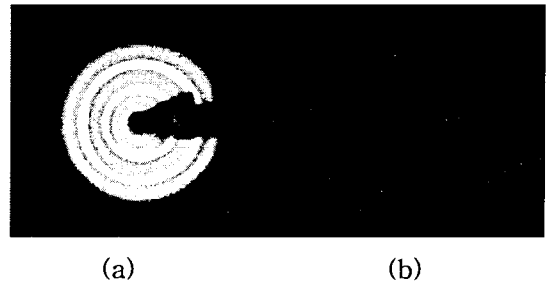
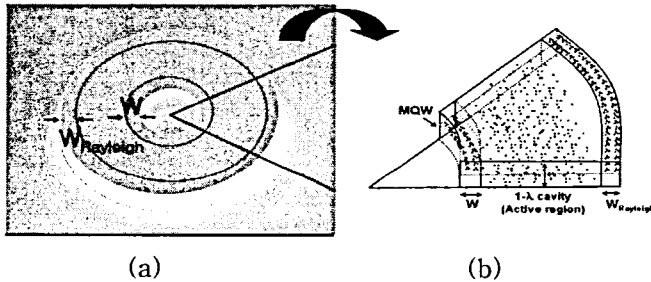


그림 1. (a)는 hollow 소자에서 convex와 concave의 band를 표현한 이미지, (b)는 주입된 캐리어가 band내에서 ordering하는 현상을 보이는 schematic diagram.

그림 2. 내경, 외경의 크기가 25 μ m, 45 μ m인 소자에 (a) 35 μ A, (b) 6 μ A 전류를 주입하였을 때의 근접장 영상.

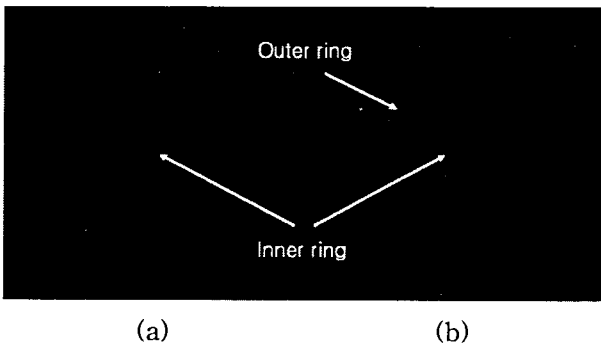


그림 3. 내경, 외경의 크기가 2 μ m, 42 μ m 소자에 (a) 2.5 μ A, (b) 5 μ A 전류를 주입하였을 때의 근접장.

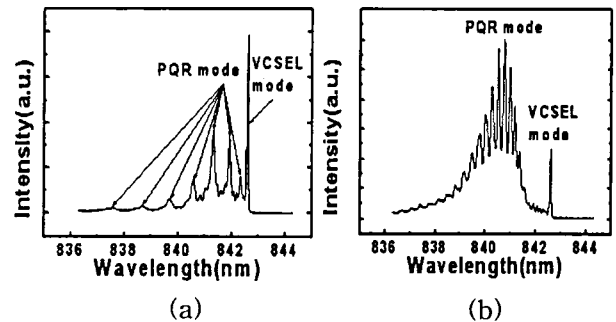


그림 4. 내경, 외경의 크기가 5 μ m, 25 μ m인 소자에 3.9mA를 주입하여 15°에서 (a) convex, (b) concave로부터 방출되는 스펙트럼.

■ 참고문헌

1. J. C. Ahn, K. S. Kwak, B. H. Park, H. Y. Kang, J. Y. Kim, and O'Dae Kwon, "Photonic Quantum Ring", Phys. Rev. Lett., Vol. 82, pp. 536-539, 1999.
2. B. H. Park, J. Bae, M. J. Kim, and O'Dae Kwon, "Chiral wave propagation of manifold of the photonic quantum ring laser", Appl. Phys. Lett., Vol. 81, pp. 580-582, 2002.
3. 김무진, 김영천, 이승은, 권오대, "Convex-WG PQR fabrication using wet etching", 반도체 국가지정연구소 기술교류회 한국물리학회 발표회, p. 148 (2004.10.21-23, 제주대학교).

T
P