

CAIBE을 이용한 고집적 PQR 레이저 어레이 제작

The fabrication of high-density photonic quantum ring laser array using chemically-assisted ion beam etching

윤준호, 안성재, 김영천, 김광해, 이용준, 이승은, 권오대
 포항공과대학교 전자전기공학과
 e-mail: jhdirac@postech.ac.kr

광양자테 (PQR : Photonic Quantum Ring) 레이저는 상하로 p-DBRs과 n-DBRs에 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 WGM(whispering gallery mode) 레이저이다.^{1, 2} 광양자테 레이저는 기존의 반도체 레이저보다 매우 낮은 문턱전류와 온도에 따른 \sqrt{T} 의존성을 가지고 있어 집적도가 높은 어레이 제작에 많은 장점을 가지고 있다.¹ 또한 최근에 개발된 역메사형 PQR hole은 gain induced index guiding에 의한 convex-WGM의 특징을 가지고 있다. 고집적 칩의 PQR hole은 메사형 PQR 레이저의 낮은 문턱전류 특징을 가지며, 제작방법이 매우 쉬운 장점을 가지고 있어, PQR 어레이의 집적도를 메가(mega)에서 기가급(giga)으로 향할 수 있다.

PQR 레이저와 어레이를 제작하기 위해서 CAIBE을 이용하였다.⁴ CAIBE는 chemically assisted ion beam etching으로 dry etching과 wet etching의 장점들을 이용하는 에칭방법으로 PQR 레이저에 필요한 매우 부드러운 수직단면을 얻을 수 있다. CAIBE 시스템은 그림 1(a)에 도시되어 있다. 그림 1(b)은 GaAs/AlGaAs 시스템에서의 CAIBE 에칭 과정을 보여주는 것이다. BCL3 가스는 Al에서 형성된 oxide을 제거하기 위해서 사용하였다. 이 시스템은 빔 직경(FWHM)이 3 cm인 dual-grid Kaufman-type 이온 소스가 부착되어 있다. 균일하고 재현성있는 에칭을 위해, 분당 25회전을 할 수 있도록 substrate에 모터가 장착되어 있고, 공정 중에 substrate의 온도를 일정하게 유지하기 위해서 항온조로 온도를 유지시켜준다. 이온소스와 샘플과의 거리는 13 cm이고, 입사 이온 빔과 샘플이 놓여지는 substrate의 각도(tilt angle: 세타)를 조절할 수 있도록 substrate가 이온 소스를 중심으로 tilting이 되도록 설계 되어있다. 따라서 substrate가 tilting이 되어도 이온 쏘와 샘플과의 거리에는 변화가 없어, 이온 빔의 divergence를 일정하게 유지할 수 있다. 샘플을 화학적으로 부식시켜 주는 가스인 CL2와 BCL3는 네 개의 노즐을 통해서 샘플 부근에서 분출이 된다. GaAs와 AlGaAs의 반사도의 차이를 이용하여 에칭과정을 monitoring할 수 있도록 되어있다.

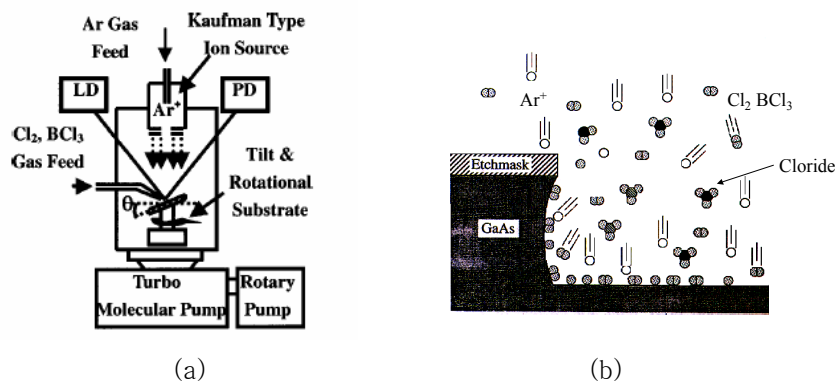


그림 1. (a) CAIBE 시스템, (b) CAIBE 에칭 과정

여러 종류의 PQR 레이저를 제작하기 위해서는 각 소자에 최적화된 CAIBE 조건이 필요하다. CAIBE 에칭에 영향을 주는 요소에는 매우 많다. 하지만 에칭된 소자의 모양에 가장 큰 영향을 주는 요소는 ion-beam의 세기와 tilting 각도 그리고 가스에 양에 있다. 기존에 제작된 PQR 레이저는 메사타입으로 그 조건이 거의 정해져 있지만, 최근에 개발된 PQR hole과 지금 제작 중에 있는 thin ring 모양의 PQR 레이저를 제작하기 위해서는 그 조건들이 조정되어야 한다. 그림 2(d)는 이에 대한 간단한 조건을 보여주고 있다. 이것은 일반적인 조건이며 상황에 따라 변할 수 있다. 그림 2(a)는 메사타입 PQR 레이저로 제작된 1K, 4K, 16K, 64K 어레이의 발진 CCD 이미지와 64K 어레이의 SEM 이미지이며, (b) PQR hole 통하여 제작된 64K, 2.8M 고집적 어레이와 PQR hole 소자의 SEM 이미지이다. 아래의 색깔처리된 것은 발진세기를 나타내면, 매우 균일한 세기를 보여주고 있다. (a)와 (b) 각 삽입그림은 1000배 확대 이미지이다. (c)는 ring 모양 PQR 소자의 SEM 이미지이다.

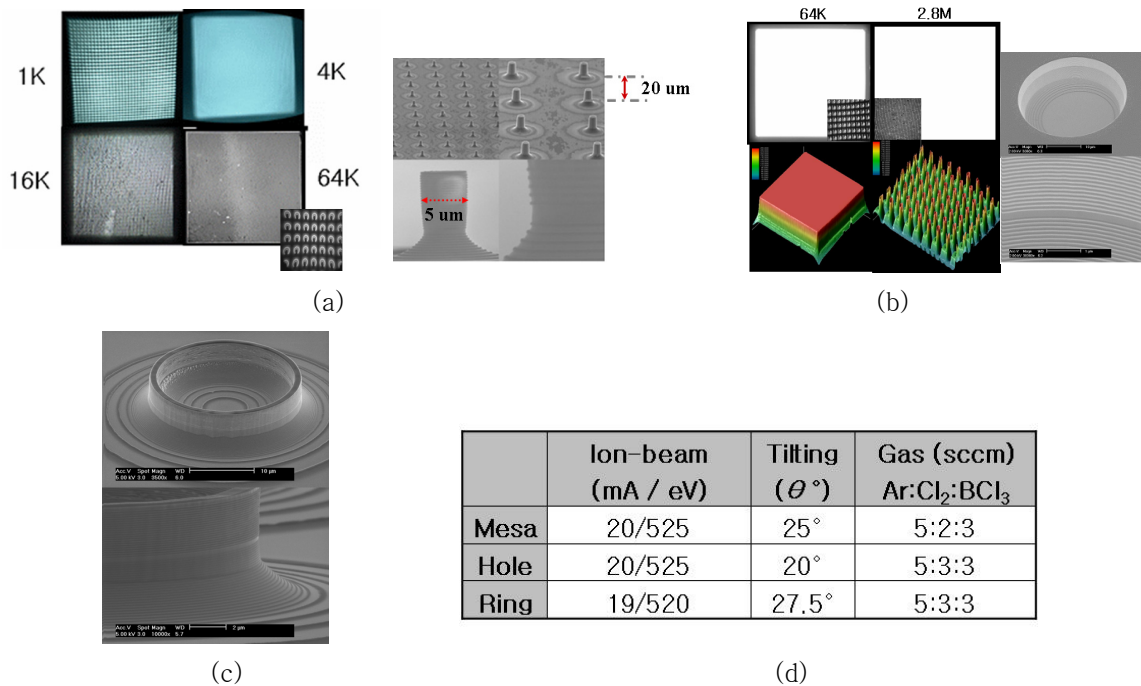


그림 1. (a) 메사타입 1K, 4K, 16K, 64K PQR 어레이와 64K 어레이 SEM 이미지 (각 주입전류 1 mA, 4 mA, 16 mA, 50 mA), (b) 64K, 2.8M PQR hole 어레이의 발진 CCD 이미지와 PQR hole SEM 이미지 (주입전류는 0.4 A, 1 A), (c) ring 모양 PQR 소자의 SEM 이미지, (d) 각소자의 CAIBE 에칭 조건

이외에도 CAIBE 에칭을 통하여 쌍곡면 드럼구조⁵, 정사각, 정삼각 모양의 PQR 소자도 제작하였다. 그림 2에서도 확인할 수 있듯이 CAIBE 에칭을 통하여 모든 PQR 소자에서 매우 부드러운 수직단면을 얻을 수 있다. 부드러운 수직단면 3차원 WGM에서 좋은 mirror 역할을 한다.

1. J. C. Ahn, K. S. Kwak, B. H. Park, H. Y. Kang, J. Y. Kim, and O'Dea Kwon, "Photonic Quantum Ring", Phys. Rev. Lett., Lett., Vol. **82**, pp. 536-539, 1999.
2. B. H. Park, J. Bae, B. 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. O'Dae Kwon*, M. J. Kim, S. -J. An, D. K. Kim, S. E. Lee, J. Bae, and J. H. Yoon, "Hole emitter of photonic quantum ring", Appl. Phys. Lett (submitted)
4. J. Y. Kim, K. S. Kwak, J. S. Kim, B. K. Kang, and O'Dae Kwon, "Fabrication of Photonic Quantum Ring Laser using Chemically Assisted Ion Beam Etching" J. Vac. Sci. Technol. B **19**, pp.1334-1338, (Jul. 2001)
5. J. Y. Kim, S. J. An, J. Y. Kim, J. Lee, B. Kang, O'Dae Kwon., "Fabrication of hyperboloid-drum structure for electrically pumped laser of sub micrometer to nanometer diameter active areas" Vac. Sci. Tech. B vol **22**, No. 2, pp. 673-677 (Mar. 2004)