

청색 PQR 레이저 제작을 위한 GaN CAIBE 에칭

Chemically assisted ion-beam etching of GaN for blue photonic quantum ring laser

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

PQR(photonic quantum ring) laser는 3차원 WGM(whispering gallery mode)을 만족하는 반도체 레이저이다. 메사타입 구조에서 테두리를 따라 양자선(quantum wire) 캐리어 분포 특징을 가지므로 인해 수 uA~nA의 낮은 문턱전류와 온도안정성 등의 많은 장점을 가지고 있다.[1] 현재까지 본연구실은 850 nm, 980 nm, red(665 nm) 파장에서 발진하는 PQR 소자를 제작하여 많은 연구를 진행하였다. 이번 연구에서는 청색 PQR 레이저 제작을 위한 GaN의 CAIBE 에칭에 관한 연구를 진행하였다.

청색 PQR 연구를 위해서 현재 많이 사용되고 있는 청색 LED (GaN/InGaN) wafer를 사용하였다. 아래 그림 1은 청색 LED wafer의 구조와 n-GaN과 p-GaN region의 도핑농도 그리고 CAIBE 시스템의 개략도를 보여주는 것이다. 활성층(active layer)은 다섯개의 MQW(multi quantum well)로 구성되어있다. 위층은 p-GaN와 아래층은 n-GaN로 구성되어 있으며, buffer 층과 사파이어기판으로 구성되어 있다. 웨이퍼의 총두께는 455 um 정도. 대부분의 두께는 사파이어기판(450 um)이 차지한다.

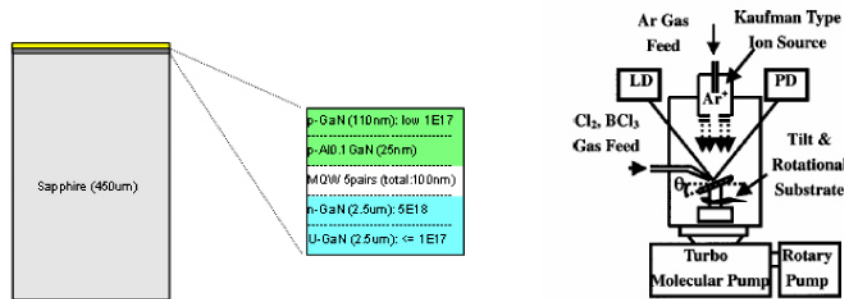


그림 1 blue LED wafer 구조와 도핑농도 그리고 CAIBE 시스템의 개략도

청색 PQR 레이저를 제작하기 위해서는 90°보다 1~2° 큰 경사도를 가진 메사타입의 profile이 필요하다. 기존 PQR 레이저 제작을 위해 사용된 wafer는 대부분 GaAs/AlGaAs 계통을 사용하였으며, 그때의 수직인 단면을 얻기 위한 CAIBE 시스템의 조건은 Ion-beam current(mA)/voltage(eV) = 19 mA/ 520 eV, tilting angle = 27.5°, substrate temperature = 40 °C, running time = 약 18 mins, Ar/Cl₂/BCl = 5 : 2 : 3 sccm을 사용하였으며, hole 타입의 경우에는 tilting angle(20°)에만 차이가 있고 다른 조건은 같다.[2] GaN 최초의 에칭에서는 tilting angle과 에칭시간만을 다르게 하였고 위의 조건으로 진행하였다. CAIBE에서는 tilting angle에 따라 메사의 단면의 경사가 결정되므로 이에 대한 영향을 알아보기 위해서 각도를 15°에서 45°까지 5°씩 증가시켜 에칭을 진행하였으며, 청색 LED wafer의 활성층 깊이가 200~300 nm 정도로 매우 낮아 일반적으로 800 ~ 1000 nm 깊이 에칭을 필요로 하기 때문에 에칭시간을 10분으로 하였다. (Ar/Cl₂ 가스를 사용하는 CAIBE에서 GaN의 일반적인 etch rate는 100 nm/분) 그림 2는 청색 LED wafer의 위의 조건으로 에칭한 후의 SEM 이미지이다. 에칭 결과 깊이는 1.5 um을 얻을 수 있었지만, tilting angle에 상관없이 PQR 제작을 위해 필요한 수직인 단면을 얻지는 못하였다. 또한 표면의 상태 또한 매우 거친 표면을 보여주었다. 위의 검은 부분은 PR(photoresist)을 나타낸다.

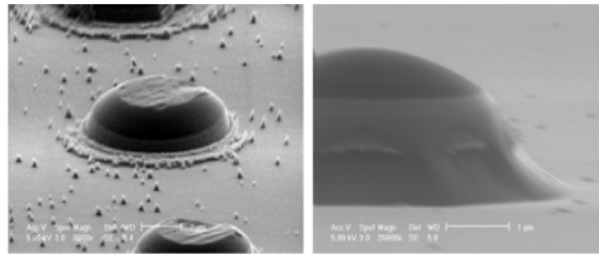


그림 2. 기존 조건으로 (Ion-beam current(mA)/voltage(eV) = 19 mA/ 520 eV) 에칭된 청색 LED wafer SEM 이미지 (tilting angle = 15°(좌), 45° (우))

수직단면을 얻기 위해서 ion-beam의 current와 voltage는 22 mA/525 eV, gas pressure = 4×10^{-4} torr, substrate temperature = 50 °C을 증가시켜 에칭하였다. tilting angle은 45°로 유지하였다. 그리고 수직한 PR 패턴형성을 위해 image reversal방법을 사용하였다. 그림 3은 에칭후의 SEM 이미지이다.

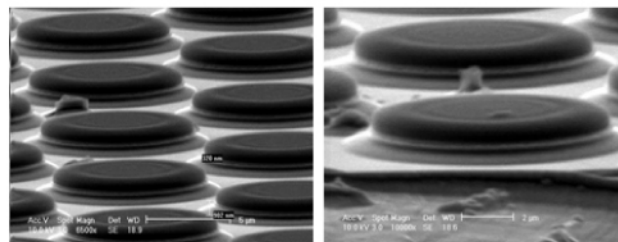


그림 3. Ion-beam current(mA)/voltage(eV) = 22 mA/ 525 eV 에칭된 blue LED wafer SEM 이미지(tilting angle = 45°)

에칭결과 그림에서 확인할 수 있듯이 에칭의 깊이는 1.5 μm 정도이고, PR층 바로 아래 부분에서 400~500 nm 정도의 수직한 단면을 얻을 수 있었지만 그 이후의 부분에서 넓게 shadow region이 나타나는 것을 볼 수 있었다. Shadow region을 없애기 위해 ion beam current와 voltage을 24 mA/725 eV 로 증가시켰으며, tilting angle을 45°에서 에칭 중간에 25°, 20°, 15°로 변화시키면서 에칭을 진행하였다. Current와 voltage의 세기가 이전보다 매우 높기 때문에 에칭시간을 3분으로 하였으며, 각 각도에 따라 1분 30초씩이 진행하였다. 그림 4는 에칭결과 SEM 이미지이다.

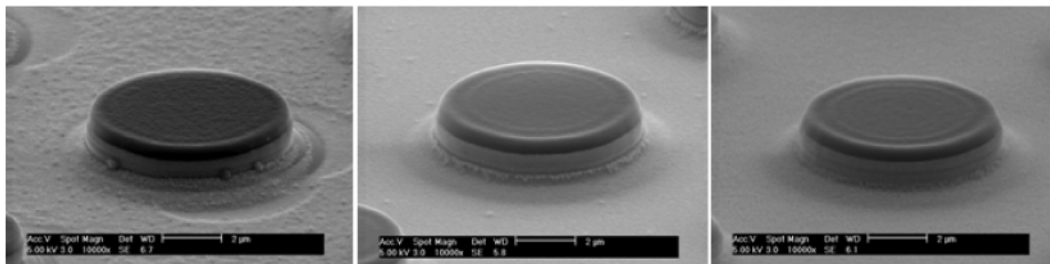


그림 4 Ion-beam current(mA)/voltage(eV) = 24 mA/ 725 eV 에칭된 blue LED wafer SEM 이미지(tilting angle의 변화(a) 45°→ 25°, (b)45°→ 20°, and (c) 45°→ 15°)

에칭결과 에칭의 깊이는 1.5 μm이였으면, 수직한 단면과 shadow region이 매우 많이 감소하였음을 볼 수 있었다. 수직한 정도에 대해서는 45°→ 25°의 경우가 가장 좋았으며, 표면의 깨끗함에 대해서는 45° → 15°가 좋은 결과를 보였다.

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. 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)