

## Blue convex WGM PQR hole 칩의 제작

### Fabrication of blue convex WGM PQR hole chip

김영천, 이용준, 윤준호, 김동권, 이승은, 김광해, 권현숙, 김승식, 권오대  
 포항공과대학교 전자전기공학과  
 phobos@postech.ac.kr

세계 최초로 개발된 PQR<sup>(1)</sup> 레이저는 극소 문턱 전류, quantum wire 특성에 기인한 온도-파장 안정성, 편광 제어 기능, 시각도에 따른 다파장 특성 등의 고유한 기술적 강점들을 보유하고 있다. 또한 최근에 개발된 convex WGM PQR hole<sup>(2)</sup> 소자는 쉬운 제작방법의 경제적인 장점들을 가지고 있다. 한편 세계적으로 고체조명시장(Solid-State Lighting)은 optoelectronics 분야 중에서도 가장 큰 성장을 이룰 것으로 전망된다. 특히 고휘도 발광 다이오드(LED)는 50억 달러(2006년 기준) 규모인 세계 조명시장에 투입되고 있으며 백열등 및 형광등 등의 기존 기술들을 가까운 미래에 대체하려 하고 있다. 그러나 LED는 incoherent한 자발 방출(spontaneous emission)로서 PQR의 유도방출과 극소 문턱전류에 비교가 되지 않는다. 나아가서 LED 발광 스펙트럼 폭은 매우 넓기에 레이저의 narrowing에 필적할 수 없다. 따라서 PQR 레이저의 낮은 전력소모와 높은 색 선명도는 PQR 레이저가 LED 대체 광원으로 응용될 수 있는 가능성을 제시해준다. 본 논문에서는 빛의 삼원색중 청색에 해당하는 blue convex WGM PQR hole 칩의 제작 과정을 소개하고 그 응용 가능성을 살펴보도록 하겠다.

Blue convex WGM PQR hole array 칩의 제작 과정은 다음과 같다. GaN wafer에 hole array의 p-metal 라인을 증착시키고 직경 6um인 64k급의 hole array를 에칭한다. 에칭 후 edge 쪽에 n-metal을 증착시키고 GaN wafer 상하로 metal mirror 및 DBR을 증착시키는 후속 공정을 거치게 된다. DBR은 p-GaN 위로 이론적으로 반사도가 95%인 SiNx/SiO<sub>2</sub>를 8 pairs로 적층시키고 metal mirror는 phase matching layer를 고려해 SiNx를 85nm로 증착시키며 마지막으로 반사도가 높은 Ag를 입힌다. 소자 공정의 단가를 최소화하기 위하여 다음처럼 공정을 단계별로 진행하였다. 저렴한 GaN wafer는 사파이어 기판 바닥이 rough하다. 이 기판을 그대로 두고 GaN 위에 반사막을 형성한 경우에도 WGM PQR hole 효과는 구별할 수 있다. DBR이 있는 층과 없는 층이 공존하도록 제작한 그림 1 좌측의 (a)는 반사막이 없는 PQR hole의 emission 사진이고 (b)는 반사막이 있을 경우의 PQR hole emission 사진이다. 주입 전류는 234mA이며 반사막이 있을 경우 PQR hole 테두리에서 더욱 밝은 빛이 나옴을 확인할 수 있었다.

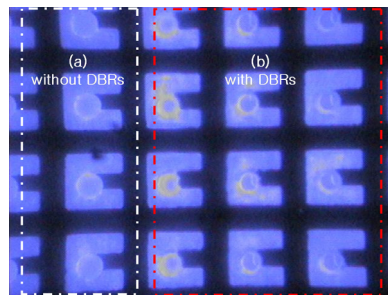


그림 1. (a) 반사막이 없을 경우의 PQR hole emission, (b) 반사막이 있을 경우의 PQR hole emission.

Rough한 사파이어 기판 바닥에 index 값이 비슷한 polyimide(사파이어 index : 1.77, polyimide index : 1.8)를 index matching layer로 사용하여 매끄러운 표면을 만든 후에 metal(Ag) layer를 증착시키는 방법을 사용한 결과 그림 2와같이 주입전류 240mA에서 PQR hole 테두리가 더욱 선명하게 밝게 빛나는 효과를 얻을 수 있었다. 상기 layer로 phase matching까지 고려함도 가능하다. 만약 polyimide 공정대신 공전단가의 상층을 수용하여 사파이어 기판 바닥을 polishing하면 PQR hole의 선명도는 다시 월등해질 것이다. 약 500um 두께의 사파이어를 아주 얇게 polishing 하면 공정단가가 상승하고 후속공정도 까다로워진다. 그러나 그만큼 PQR hole 성능은 아래의 논리대로 향상될 것이다.

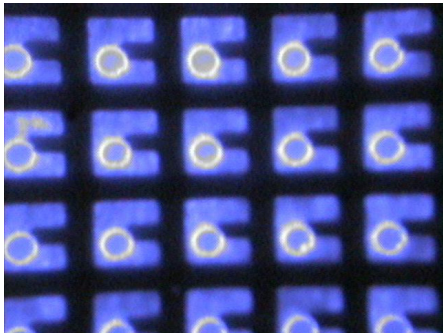


그림 2. 사파이어 표면 바닥이 rough한 wafer에 index matching layer(polyimide)로 표면을 평탄화시켰을 때의 PQR hole emission.

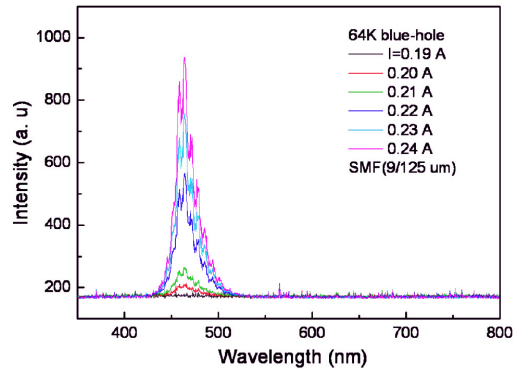


그림 3. Blue PQR hole array의 스펙트럼. (without DBR)

Index matching layer를 사용해 polishing 과정이 없는 사파이어 표면을 평탄화 시킨 PQR hole array의 스펙트럼을 그림 3에 나타내었다. 중심파장(465nm)에서 주입 전류가 증가할수록 intensity가 커짐을 확인할 수 있었다. 이 경우 50nm 정도의 broad한 전체 linewidth의 반치폭 (full-width half-maximum)안에서 아직 분리되지 않은 여러개의 sub-modes의 emission peak들을 보여주고 있다. 만일 기판을 더 얇게 하면서 polishing할 경우 sub-modes들의 분리가 일어날 것이며 사파이어 막이 위의 GaN 박막에 접근할 경우 Fabry-Perot mode 분리가 확장되어 single mode PQR hole 발진 또한 가능해질 것이다. 이에 대한 연구 결과를 완성하여 보고하도록 하겠다. 차후 SiNx/SiO<sub>2</sub> DBRs과 phase matching layer를 포함한 Ag metal mirror 층의 특성 연구를 통해 micro-cavity 구조에서의 resonance 효과를 높이는 작업도 진행하여 메사타입의 blue concave WGM PQR의 제작 결과도 함께 보고할 계획이다.

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, No. 3, pp.536-539, 1999.
2. M. J. Kim, S. -J. An, D. K. Kim, Seung Eun Lee, J. Bae, J. H. Yoon, B. H. Park, J. Kim, J. Ahn and O'Dae Kwon, "Hole emitter of photonic quantum ring" Appl. Phys. Lett. (under review).