

## 기판 용융 접합을 이용한 상온동작 2차원 광밴드갭 레이저

### Room-temperature 2-D PBG laser employing wafer fusion

황정기, 류한열, 송대성, 한일영, 이용희, 장동훈\*

한국과학기술원 물리학과, \*전자통신연구소 원천기술연구부

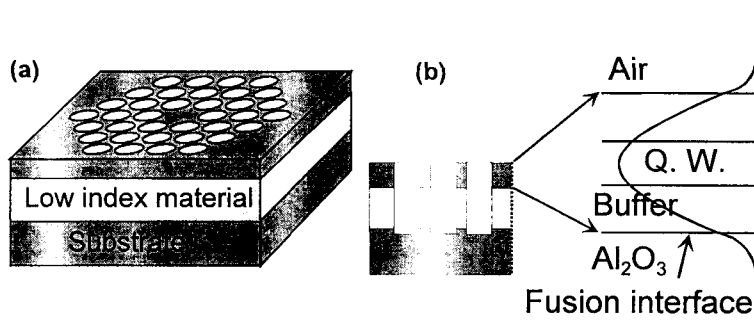
s\_jkhwang@cais.kaist.ac.kr

광결정(photonic crystal)으로 광원의 자발 방출을 조절하면 문턱전류 없는 레이저, 고효율 다이오드, 파장 크기에 손실 없이 급격히 꺾을 수 있는 광도파로 등 기존의 광소자에서 얻을 수 없는 좋은 성능을 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 이러한 광결정은 유전체를 파장정도 크기에서 주기적으로 배치시킨 인공적인 결정인데 고체에서 원자의 주기적인 배치로 전자가 전파할 수 없는 진동수 영역, 즉 밴드갭이 생기는 것과 유사하게 빛에 대해서 빛이 전파할 수 없는 진동수 영역인 광밴드갭(photonic bandgap)을 가진다. 그런데 관심있는 광영역에서 3차원 모든 방향으로 광밴드갭이 있는 구조물은 마이크로미터보다 작은 내부 구조를 가지는 복잡한 3차원 구조물로 제작이 어렵다. 이러한 어려움을 극복하기 위해 제작이 비교적 용이한 3차원 광밴드갭 구조물이 찾아지고 있다. 다른 접근 방법으로 평면(x-y)에서는 2차원 광밴드갭을 이용하고 제 3의 방향(z축)으로는 전반사를 이용하는 구조는 제작이 용이할 뿐만 아니라 처음부터 광원의 편광을 TE 또는 TM 모드로만 방출 되도록 준비해 줄 수 있으면 거의 3차원 광결정에서 얻을 수 있는 효과를 낼 수 있는 것으로 발표되었다.<sup>(1)</sup> 이 방법을 이용하여 최근에 미국의 캘리포니아 공과대학(Caltech)을 중심으로 레이저 동작을 보여 주었다.<sup>(2,3)</sup> 공기로 둘러싸인 얇은 유전체 평판에서 생기는 전반사와 평판 위에 2차원 삼각형살창(triangular lattice)에 구멍을 뚫어 얻는 2차원 광밴드갭을 이용해 3차원 공진모드를 형성하였다. 이러한 구조에서 1개만 구멍을 매워서 만든 공진기는 저온(143 K)에서 레이저 발진을 보였고 여러 개의 구멍을 매운 경우는 상온에서 펄스 펄스의 유지시간이 0.5% 인 경우 레이저가 동작하는 것을 보여주었다. 이는 구조내에서 열전도가 문제가 된다는 것을 의미하는데 위아래가 공기로 둘러싸여 있어 발생한 열이 가는 유전체 네트워크를 통해서만 전달 될 수 있기 때문이다.

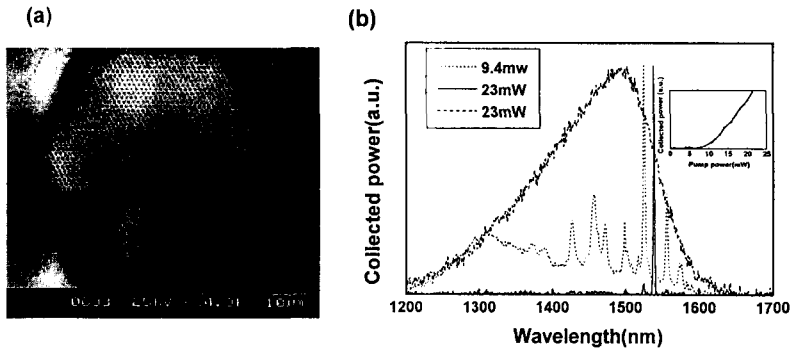
본 발표에서는 이를 해결하기 위하여 기판 용융 접합을 이용하여 평판의 아래쪽에 공기대신 구멍 뚫린  $Al_2O_3$ ( $n=1.5$ )를 사용한 구조를 제안하고 실험한 결과를 발표한다.<sup>(4)</sup> 구조의 간략화 해 [그림 1]에 보였다. 먼저 발광물질로 비발광 결합이 적은 InGaAsP 양자우물(Q.W.)을 이용하였다. 이는 빛을 내는 물질이 공기와 접하는 부분이 큰 광밴드갭 구조에서는 중요하게 고려되어야 한다. 한편 양자우물에 압축변형(compressive strain)을 주어 방출되는 빛이 TE 모드에 결합이 잘되게 하였다. 다음에 평판의 두께는 단일 모드만을 유지하도록 충분히 얇아야 한다. 그런데 기판 용융 접합 과정에서 양자우물이 접합면에서 너무 가까우면 접합면에서 유도된 결합이 전파하여 빛 방출 특성을 손상시킨다. 본 실험에서는 이를 고려하여 평판의 두께를 320nm 했는데 이 두께에서는 두개의 모드가 허용된다. 그러나 높은 쪽 모드의 필드 분포가 평판의 가운데에서 매우 작기 때문에 Q.W.과 커플링 효율이 적어 거의 단일 모드 조건이 만족된다. 평판에 삼각형 살창 위치에 구멍을 뚫어 유사 TE 모드에 대해 광밴드갭을 만들었다. 구멍 간 거리와 구멍의 크기를 조절해 광밴드갭이 생기는 진동수 영역의 중심이 양자우물에서 빛이 가장 세게 나오는 1.55 마이크로미터 파장에 해당하도록 설계하였다. 제작한 시료 전자현미경 사진이 [그림 2(a)]에 있다.

제작 과정은 양자우물을 가지는 InP 기판과 AlAs를 가지는 GaAs 기판을 용융 접합한 후 InP 기판을 녹여내고 그 위에 전자빔 리토그래피로 패턴을 그리고 CAIBE로 구멍을 뚫었다. 그후 산화 과정을 거쳐 AlAs( $n=3.4$ ) 물질을 굴절률이 낮은  $Al_2O_3$  ( $n=1.5$ )로 바꾸었다. 상온에서 980nm 레이저로 1MHz로 펄스 펄핑했고 펄스는 주기의 10% 동안 유지했다. 샘플은 400nm 주기로 구멍을 뚫었고 구멍의 직경은 124nm 근방이었다. 레이저로 동작하는 결과를 [그림 2(b)]에 보였는데 문턱 펄핑이 10mW 정도다. 문턱 이전에 생기는 빛을 검출한 결과(photo

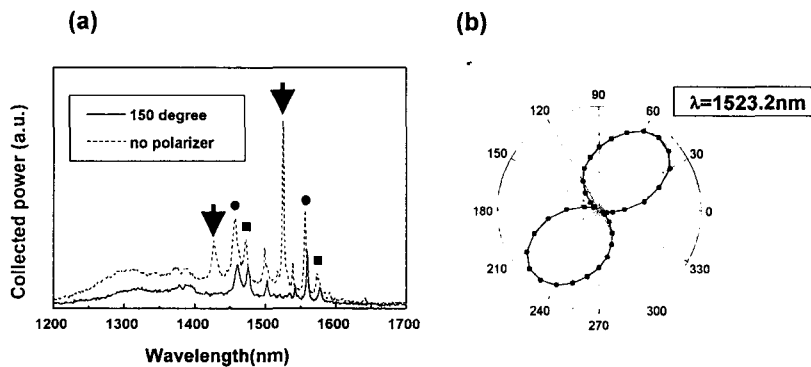
luminescence)에서 많은 공진 모드를 보인다. 유효 공진기 거리를 추정해 계산한 공진 주파수간의 차이보다 작는데 이를 보기 위해 공진 모드들의 편광특성을 조사했다. [그림 3]에 보면 서로 다른 진동수의 공진 모드가 특정 편광판 각도에서 측정되는 빛의 양이 같이 감소한 것을 보인다. 같은 경향을 보이는 이들 간의 주파수 차이로 유효 공진기 거리를 추정해 보면 실제 공진기 보다 조금 크게나와 필드가 급격히 감소하는 것을 보인다.



[그림 1] 기관 응용 접합을 이용한 2차원 광밴드갭 레이저



[그림 2] (a) 2차원 광밴드갭 레이저의 전자현미경사진 (b) PL 과 레이저 스펙트럼



1. J. Vučković, O. Painter, Y. Xu, A. Yariv, and A. Scherer, IEEE J. Quantum Electron. **35**, 1168, (1999).
2. R.K. Lee, O.J. Painter, B. Kitzke, A. Scherer and A. Yariv, Elec. Lett. **35**, 569 (1999).
3. O. Painter, R. K. Lee, A. Scherer, A. Yariv, J. D. O'Brien, P. D. Dapkus, and I. Kim, Science **284**, 1819 (1999).
4. R. J. Rim, J. J. Dudley, J. E. Bowers, A. Yang, K. Carey, S. J. Rosner, and K. Nauka, J. Appl. Phys. **78**, 4227 (1995).