

기판 용융 접합 방법으로 제작되고 광펄핑하여 레이저 동작하는

1.54 μm 파장의 수직 공진 표면광 레이저

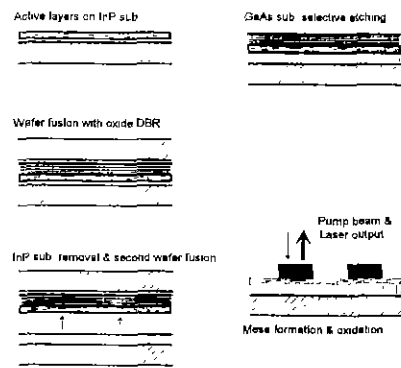
Photo-pumped double-fused 1.54 μm vertical-cavity surface-emitting lasers

송현우, 김창규, 송대성, 한일영, 이용희
 한국과학기술원 물리학과
 s_hwsong@cais.kaist.ac.kr

기판 용융접합 방식으로 제작된 장파장 수직 공진 표면광 레이저 구조에 광펄핑(pulse : 350 ns, 1 kHz)하여 1.54 μm 파장에서 레이저 동작하였다. 공진기 반사경은 $\text{Al}_x\text{O}_y/\text{GaAs}$ DBR(distributed Bragg reflector)와 기판 쪽의 GaAs/AlAs DBR 인데 $\text{InGaAs}/\text{InGaAsP}$ 양자 우물 구조의 이득 매질 양면에 기판 용융 접합하여 레이저 구조를 얻었다. 문턱 입사 펄핑 밀도는 $11.3 \text{ kW}/\text{cm}^2$ 로 측정되었다.

InP 기판 위에 격자 정합하는 고반사율의 반사경을 단일 결정 성장을 통해서 얻기는 힘들다. 그래서, InP 기판 위에 성장된 $\text{InGaAs}/\text{InGaAsP}$ 양자 우물 이득 매질과 그 양면에 GaAs 기판 위에 성장된 반사경들을 기판 용융 방법을 통해서 접합하여 레이저 공진기를 구성한다.⁽¹⁾ 기판 용융 접합 방법으로 제작된 레이저 구조는 기판 에칭과 유전체 반사경 증착으로 얻었던 장파장 수직 공진 표면광 레이저 구조보다 더 튼튼하고 소자 수율이 큰 장점이 있다. 출력경은 $\text{GaAs}/\text{Al}_x\text{O}_y$ DBR로서 mesa 에칭과 선택 습식 산화를 통해서 얇은 결정 성장으로 고 반사율의 반사경을 얻을 수 있다.⁽²⁾ 이렇게 제작된 레이저 구조는 펄스 광펄핑으로 레이저 동작하였다.

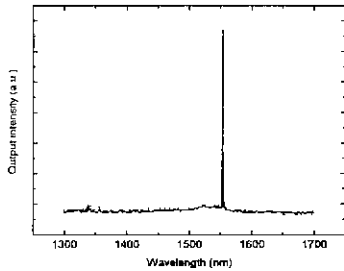
장파장 수직공진 표면광 레이저의 제작은 (그림 1)에서 과정을 알 수 있다. 중요한 제작 과정은 세 가지로 기판 용융접합, 기판에칭, 그리고 선택 습식 산화이다. 제작 순서는 이득매질에서 공진기를 이루는 에피 층이 나타나도록 에칭을 하고, 이득매질이 있는 기판과 산화막 반사경이 될 GaAs 에피 층이 있는 기판을 세척과정과 산화막을 제거하는 에칭과정을 거쳐서 기판 용융접합을 한다. 그리고, 이득매질이 있는 쪽의 InP 기판을 갈아내고 에칭한다. 이제 공진기가 될 에피 층이 드러나면 다시 AlGaAs DBR을 용융접합한다. 이렇게 이득 매질 양면에 접합된 GaAs 기판 중에서 산화막 반사경이 될 부분의 기판을 갈아내고 에피 층만 남기고 선택에칭 한다. 이렇게 되면 GaAs 기판 위에 AlGaAs DBR, 이득매질, 그리고 산화막 반사경이 될 GaAs/AlAs 에피 층이 순서대로 자리 잡는다. 여기에 패턴을 만들고 건식 에칭을 하여 습식산화를 하게 되면, 레이저 구조는 완성 된다.



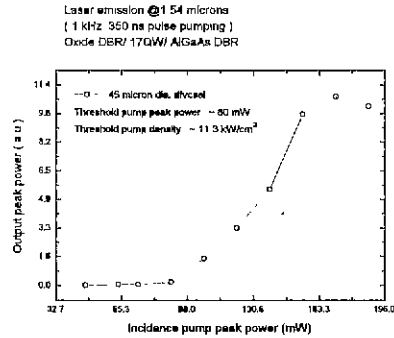
(그림 1) 장파장 수직공진 표면광 레이저의 제작 과정; 기판 용융 접합을 이용하여 이득 매질의 양면에 반사경을 접합하여 공진기를 구성한다.

제작된 광펄핑용 레이저 시편에 YAG 레이저 펄스로 광펄핑하여, 레이저 동작을 보았다. 폭 350 ns, (1 kHz)펄스를 사용하였는데, 입사 문턱 펄핑 최대 강도는 약 80 mW이고 입사 문턱 펄핑 밀도는 11.3

kW/cm^2 이다. 제작된 mesa는 직경 $45 \mu\text{m}$ 인 원이며, 펌핑한 점의 직경은 약 $30 \mu\text{m}$ 이다. (그림 2)에서 문턱 펌핑 전후에서 광출력 스펙트럼의 변화를 볼 수 있다. 그리고, 광펌핑 대 출력의 곡선에서도 문턱 현상을 볼 수 있다(그림 3). 강한 광펌핑에서 펄스 펌핑에서 주로 볼 수 있는 chirping으로 인해 생



(그림 3) 레이저 동작의 문턱 전후에서 출력 스펙트럼의 변화.

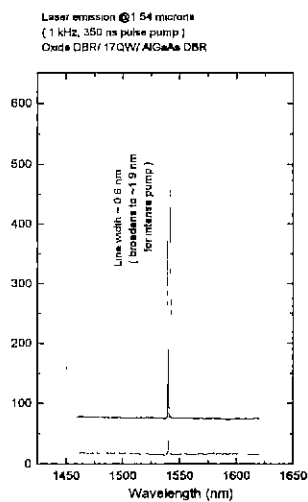


(그림 2) 광 펌핑 대 광 출력 곡선 ; 최대 문턱 펌핑 강도는 80 mW 이며, 문턱 펌핑 밀도는 11.3 kW/cm^2 이다.

기는 출력 스펙트럼의 선폭이 넓어지는 현상을 볼 수 있다(그림 4).

세 개의 기관 즉, AlGaAs DBR, 이득 매질, 그리고, 산화막 반사경 부분의 두께 분포는 제작상 잘 고려해야 할 점이다. 이들의 기관 위 에피 층의 두께가 설계 값과 완전히 균일하게 일치하는 것이 아니기 때문이다. 설계값과 비교해서 두꺼울 수도 얇을 수도 있기 때문에 이들 두께 분포를 잘 파악하고 있어야 한다. 기관들을 용융 접합 할 때 붙이는 부분의 두께 조합이 공진 파장을 결정하며 이 공진 모드가 이득 최대와 잘 일치해야만 레이저 동작을 이룰 수 있다.

제작된 광펌핑 레이저 구조는 전기 펌핑 소자에 응용 가능하며 몇가지 장점을 가지고 있다. 공진기 내부에 전극을 달고 도핑 없는 산화막 반사경으로 출력 경을 만들면 p-형 도핑의 길이가 짧아 광 흡수가 작고 전압 강하가 작아 열 발생을 줄인다.⁽¹⁾ 그리고, 전류 감금은 산화막 구경으로 구현할 수 있다.



(그림 4) 강한 광펌핑으로 갈수록 출력광의 선폭은 0.6 nm 에서 1.9 nm 로 증가한다 펄스 펌핑에서 생기는 chirping 현상이다.

참고 문헌

[1] D. I. Babic, J. Piprek, K. Streubel, R. P. Mirin, N. M. Margalit, D. E. Mars, J. E. Bowers, and E. L. Hu, "Design and analysis of double-fused $1.55\text{-}\mu\text{m}$ vertical-cavity surface-emitting lasers," IEEE J. Quantum Electron., QE-33, pp. 1369-1383 (1997).

[2] H.-E. Shin, Y.-G. Ju, H.-W. Song, D.-S. Song, I.-Y. Han, J.-H. Ser, H.-Y. Ryu, Y.-H. Lee, and H.-H. Park, "High-finesse $\text{Al}_x\text{O}_y/\text{AlGaAs}$ nonabsorbing optical cavity," Appl. Phys. Lett., 72, pp. 2205-2207 (1998).

