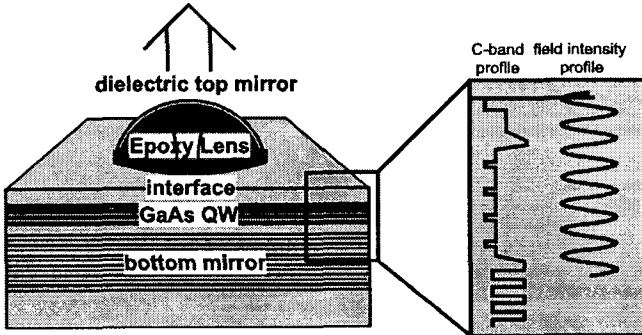


곡면반사경을 갖는 수직공진 표면광 레이저의 광 펄핑 단일 횡 모드 동작 특성

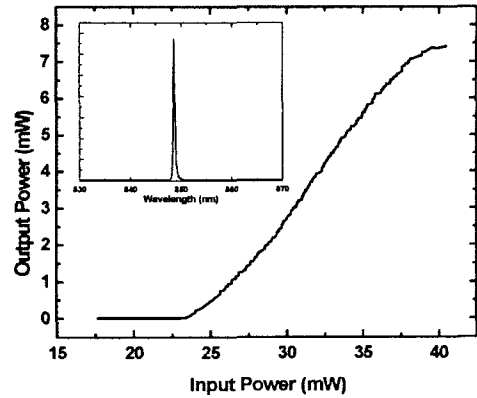
Single transverse mode operation of optically pumped half-spherical vertical-cavity laser

김규상, 이금희, 이용희, 정부영*, 황보창권*
한국과학기술원 물리학과, *인하대학교 물리학과
wakeman@mail.kaist.ac.kr

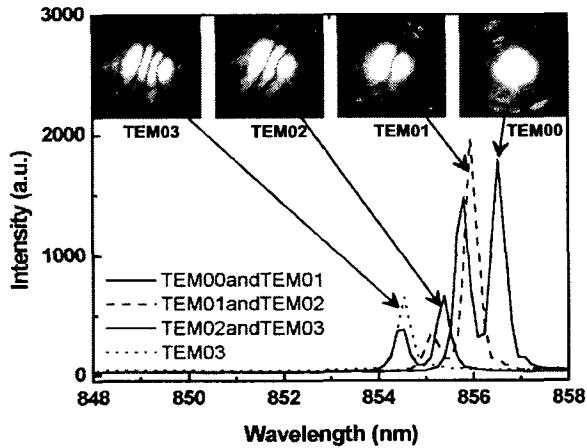
최근 들어 곡면반사경을 도입한 수직공진 표면광 레이저를 도입하여 큰 단일 횡 모드와 고출력을 동시에 얻어내고자 하는 시도가 있었다.[1] 그러나 곡면반사경에서 곡률 반경 조절의 제한과 곡면경의 크기 제한 및 곡면경의 표면 거칠기를 줄이는 문제가 있어 그 제작에 어려움이 있다. 본 실험에서는 고품위 에폭시 미세 렌즈의 구조[2]를 이용하여 곡면 반사경을 도입한 수직공진 표면광 레이저를 제작하였다. 에폭시 미세 렌즈는 레이저 동작 파장 영역에서 광학적으로 투명한 성질을 지니고 곡면반사경의 뼈대 역할을 하며 공진기를 구성한다. 하층부 반사경은 GaAs 기판 위에 MOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 증착 장비로 GaAs 양자우물을 포함하는 850 nm 중심파장의 $Al_{0.16}GaAs/Al_{0.92}GaAs$ DBR(Distributed Bragg Reflector) 구조로 되어 기판 전체가 하나의 반사경으로 구성되도록 하였다. 또한 기판 표면층인 GaAs 층은 공진기를 진행하는 종 모드 세기에서 골(node) 부분에 놓아 돔으로서 공진기 내에서 진행하는 빛의 흡수를 줄이고 기판과 에폭시 사이에 하나의 공진기 구조로 구성하였다. 기판 위에 직경 200 μm 인 원형 고리 모양의 금 도금 구조 위에 광학 에폭시로 렌즈가 형성되도록 굳힌 후, 그 위에 TiO_2/SiO_2 유전체 다층 박막을 증착함으로써 반사율 99%인 곡면경을 형성시켰다. 제작된 수직공진 표면광 레이저는 663 nm 반도체 레이저로 광 펄핑하여 레이저 동작 특성을 연구하였다. 그 결과 10 μm 이상의 크기를 갖고 출력 7 mW 이상의 단일 횡모드로만 동작하는 레이저 동작 특성을 분광기와 CCD 상을 통해 확인하였다(그림1). 이때 미분양자효율은 약 0.6 정도 이다. 또한 펄핑 위치를 공진기의 한 가운데에서 펄핑한 경우에는 단일 횡 모드로 동작하다가 측면으로 4 μm 정도 이동하여 펄핑한 경우 고차 횡모드로 전이함을 보았다. 이를 레이저 동작 문턱 값 아래 영역에서 측정된 PL(Photoluminescence)를 통해 공진모드를 확인한 결과 21 nm 정도의 종모드 간격을 가지고 그 사이에 여러 횡모드가 존재함을 알 수 있다(그림2). 공진기의 가운데에 영역에서 광펄핑 한 경우 공진기 내에서 존재하는 여러 횡 모드 중에서 단일 횡 모드가 가장 우세하게 이득을 얻어 레이저 동작 모드로 발진하게 되며, 펄핑 위치가 옆으로 이동함에 따라 단일 횡 모드 옆의 TEM_{01} 모드로 모드 이득이 전이한다(그림2). 이를 통해 본 곡면반사경을 도입한 수직공진 표면광 레이저의 공진기 구조에서는 공진기 가운데로 펄핑한다면 단일 횡모드가 우세하게 동작하는 레이저 구조임을 알 수 있다. 또한 레이저 공진기의 펄핑 광 크기를 변화시켜보면 펄핑 광 크기가 모드 크기와 거의 일치하는 경우 레이저 출력이 가장 큰 값을 얻을 수 있다. 공진기 길이와 공진 모드 크기의 관계를 공진기 구조를 측정하여 계산한 결과와 PL 측정에서 공진 모드 간의 종 모드 간격과 횡 모드 간격으로 얻은 결과를 비교해 보면 거의 일치하며, 그 결과 기판 표면에서 모드 크기가 10 μm 이상으로 동작함을 알 수 있다(그림3). 본 연구 결과를 통해 곡면 반사경을 도입한 수직공진 표면광 레이저 구조에서 곡면반사경의 크기를 조절함으로써 10 μm 이상의 단일 횡 모드로 레이저를 동작시킬 수 있고 고출력 단일 횡 모드 레이저 제작이 가능함을 알 수 있다.



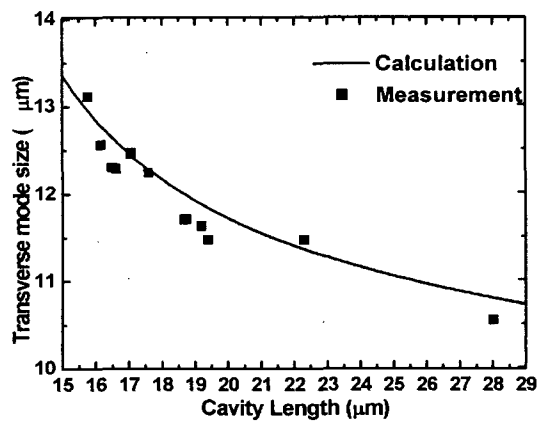
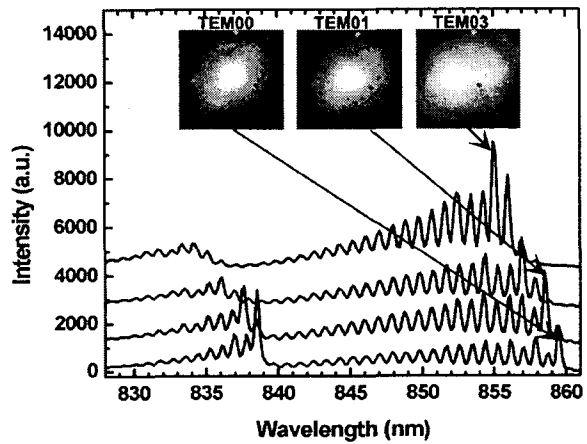
[그림 1(a)] 곡면 공진기를 도입한 수직공진 표면광 레이저 구조



[그림 3(b)] 단일 링 모드 레이저 스펙트럼과 출력 특성



[그림 2] 펌핑 위치에 따른 링모드 전이와 PL peak 전이 스펙트럼



[그림 3] 공진기 구조에 따른 링모드 크기와 측정값

[참고 문헌]

1. D. Vakhshoori, P. Tayebati, C. Lu, M. Azimi, P. Wang, J. Zhou, and R. Sacks, Electron. Lett. 35, 900-901 (1999).
2. E. Park, M. Kim, and Y. Kwon, IEEE Photon. Technol. Lett. 11, 439-441 (1999).