

399 nm로 발진하는 주파수 안정화 다이오드 레이저의 제작 Fabrication of Frequency Stabilized Diode Laser at 399 nm

김재인 박창용 염진용 윤태현
광주파수제어연구단, 한국표준과학연구원
sinerkim@kriss.re.kr

반도체 레이저는 가격이 저렴하고 크기가 작으며 주파수 조절이 용이하기 때문에 광통신, 분광학, 원자물리 등 다양한 분야에 사용되고 있다. 그러나, 반도체 레이저 자체는 수십 MHz 정도의 넓은 선폭을 갖고 주파수가 안정되지 않아 분광학이나 원자 냉각실험에 사용이 부적합하여 선폭 축소와 주파수 안정화가 필요하다⁽¹⁾.

398.9 nm의 닫힌 쌍극자 천이선($^1S_0 \rightarrow ^1P_1$)을 갖는 Ytterbium 원자를 레이저 냉각시키기 위하여 외부 공진기 형태의 반도체 레이저를 제작하였다. 그림 1은 제작된 외부 공진기형 다이오드 레이저의 구조이다. 사용한 레이저 다이오드는 최근에 상용화된 GaN UV 반도체 레이저로써, 중심파장이 399 nm, 출력이 30 mW이며, 2400 line/mm인 회절격자를 사용하여 Littrow형 외부 공진기를 구성하였다. 보다 안정한 공진기를 구성하기 위하여 거울 고정대에 직접 공진기를 구성함으로써 흔들림을 최대도로 방지하였다. 레이저 다이오드에서 나온 빛은 회절격자에서 0차 회절광과 1차 회절광으로 나뉘지며, 이때 입사각과 1차 회절각을 같게 놓으면 1차 회절광이 레이저 다이오드로 귀환되어 레이저 다이오드의 선폭이 줄어든다. 레이저의 주파수를 연속적으로 가변하기 위하여 PZT를 사용하여 회절격자를 미세하게 회전하였다. 일반적인 Littrow 형태의 외부 공진기는 회절격자의 각도가 변하게 되면 0차 출력 빔의 경로가 바뀌게 되는데, 반사 거울을 회절격자와 같은 pivot point를 갖도록 위치시킴으로써 바뀐 빔의 경로를 보정하였다.

레이저의 전류와 온도는 각각 1 μ A와 10 mK의 안정도를 갖는 직접 제작된 전류 조절기와 온도 조절기로 구동되었으며, 주입전류 또는 PZT에 가하는 전압을 조절하여 레이저의 주파수를 모드 텀 없이 가변하였다. 전류를 이용하여 그림 2에서와 같이 총 47 GHz를 가변 할 수 있었고, 비례계수는 9.5 GHz/mA 이었다. 또한 PZT에 걸리는 전압을 조절하여 미세 파장변환을 했으며, 그 결과는 그림 3과 같다. 적층형 (12 μ m/150 V) 저압 PZT를 사용하여 대략 4 GHz 범위에서 모드 텀 없이 파장을 가변 할 수 있었으며, 비례계수는 515 MHz/V 이었다.

제작한 399 nm 외부 공진기형 다이오드 레이저를 Yb 원자의 냉각실험에 사용하기 위해 공명 중심으로부터 주파수 편이를 조절할 수 있는 Yb 증기셀 주파수 안정화 장치를 구성하였고, 주파수 분별 곡선을 얻기 위해 넓은 주파수 잠금 범위를 갖는 Dichroic Atomic Vapor Laser Lock(DAVLL)⁽²⁾ 방법을 사용하였다. 이 방법은 원자 증기에 자기장이 걸리면 에너지의 Zeeman 이동이 일어나고 입사하는 빛의 편광에 따라 공명 주파수가 달라지는 현상을 이용한 것으로 실험장치는 그림 4와 같다. 그림 4에서 검출기 PD₁과 PD₂에 원편광 상태에 따라 주파수가 이동된 흡수신호가 측정되고 두 개의 신호의 차이로부터 분산신호를 얻는다. Yb 원자의 경우 자장이 150 Gauss 일 때 두 흡수신호의 간격은 약 400 MHz이며, 400 MHz 범위에서 $\lambda/4$ 판을 회전함으로써 주파수 편이 조절이 가능하다. 다른 주파수 안정화 방법에 비해 DAVLL 방법은 주파수 고정 범위가 넓기 때문에 주파수 잠금이 쉽게 깨지지 않는다. 제작된 선폭이 좁고 주파수 안정화된 외부 공진기형 다이오드 레이저는 레이저를 이용한 Yb 원자 냉각실험에 사용될 것이다.

본 연구는 과학기술부 시행 창의적 연구진흥 사업의 지원으로 이루어졌다.

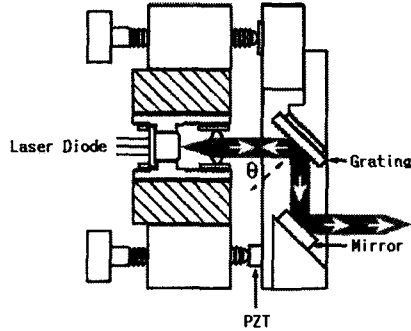


그림 1. 제작된 외부 공진기 레이저 다이오드의 구조

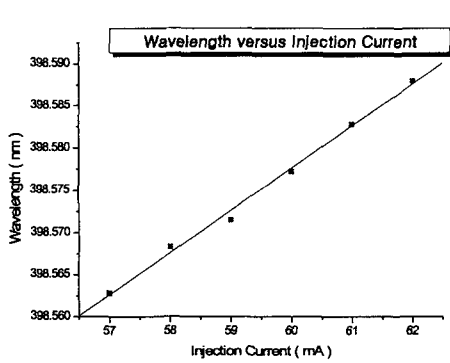


그림 2. 전류 대 주파수 가변 특성

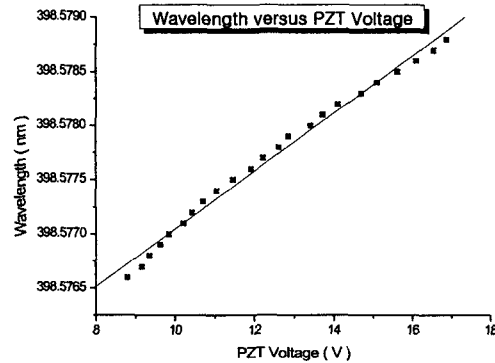


그림 3. PZT 전압 대 주파수 변환 특성

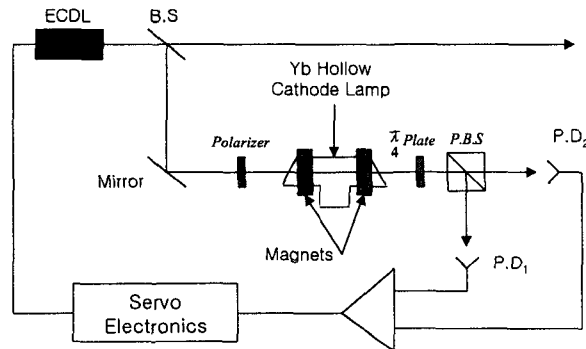


그림 4. Yb Hollow Cathode Lamp를 이용한 DAVLL 주파수 안정화 실험장치도

참고문헌

[1] C. E. Wieman, Leo Hollberg, "Using diode lasers for atomic physics", Rev. Sci. Instrum. **62**, 1, 1991.
 [2] K. L. Corwin, Z. T. Lu, C. R. Hand, R. J. Epstein, C. E. Wieman, "Frequency-stabilized diode laser with the Zeeman shift in an atomic vapor", Appl. Opt. **37**, 3295, 1998