

패브리 페로 공진기를 이용한 간섭계용 고출력 다이오드 레이저의 주파수 안정화

Frequency stabilization of high power diode laser using Fabry-Perot etalon for interferometry

주기남, 김승우

한국과학기술원 기계공학과

pepsi@kaist.ac.kr

간섭계의 광원으로 현재 레이저를 주로 사용하고 있다. 이러한 간섭계용 레이저의 조건은 선폭 (linewidth) 이 좁아야 하고, 중심 주파수가 안정화 되어야 한다. 특히 거리용 간섭계의 경우, 주파수 안정화되어 있는 레이저가 사용되어 측정 불확도를 낮춘다. 그러나 점차 다축을 측정하기 위한, 또는 보다 넓은 영역을 측정하기 위해서는 보다 높은 출력의 레이저를 요하고 있다. 그러나 현재의 간섭계용 레이저는 헬륨네온 레이저로서 단일 모드 기준으로 2 mW 이하의 출력을 보이고 있어서 응용 면에 있어서 제약을 받는다. 본 연구에서는 이러한 현재 간섭계용 레이저의 단점인 출력의 문제를 해결하기 위해 레이저 다이오드를 이용하여 주파수 안정화하는 연구를 수행하였다.

먼저 레이저 다이오드의 단점인 선폭이 넓은 문제는 외부 공진기 구조 (External Cavity Laser Diode) 를 됴으로써 해결하였다[1]. 선폭을 줄이기 위해서는 외부 공진기 구조시 강한 광되먹임이 필요하다. 이러한 강한 광되먹임을 가능하게 하기 위해 다이오드 앞단에 무반사 코팅을 하였고, 외부 반사체로는 반사형 회절격자를 두어 Littrow 구조로 구성하였다. Littrow 구조는 다이오드 레이저에서 격자에 입사한 빛의 1 차 회절한 빛이 다시 레이저 다이오드로 들어가게 되는 구조이다. 그래서 전체 공진기의 길이가 길어지는

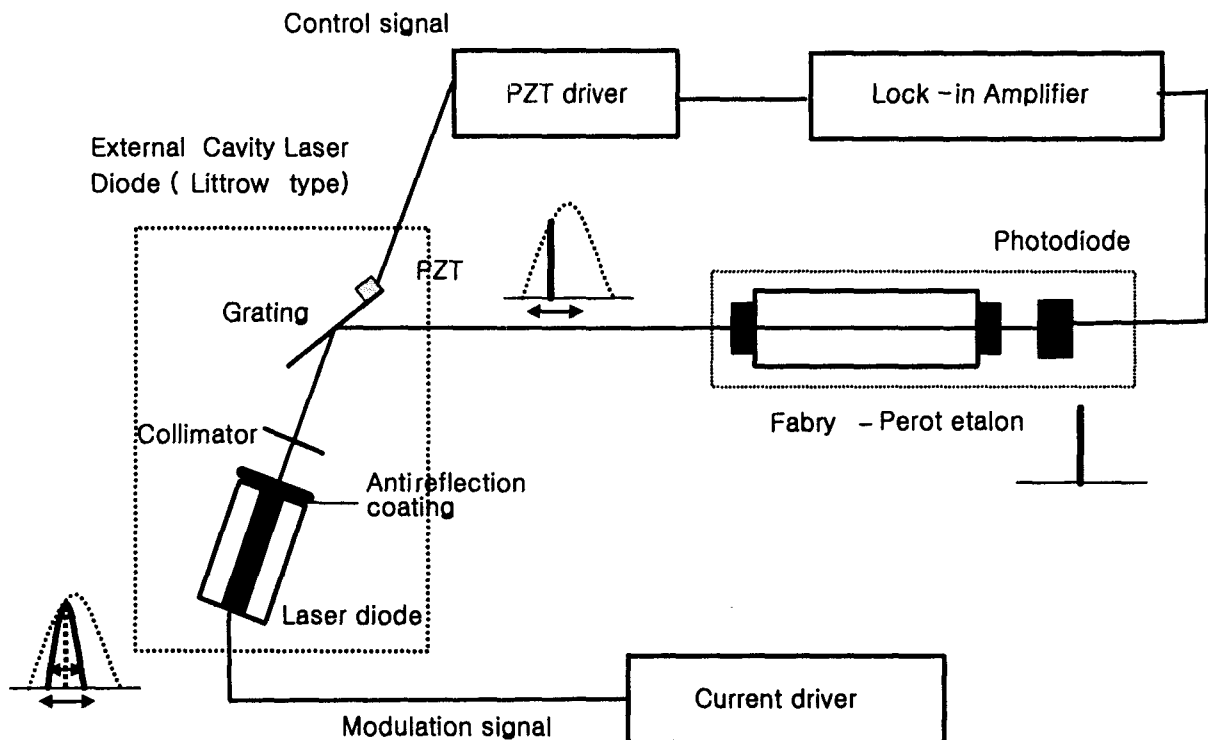


그림 1 레이저 다이오드의 안정화시스템

효과를 얻게 되며 선폭을 줄이는 효과를 얻게 된다. 구조는 각도 조절을 가능하기 위한 구조로 구성했으며 그곳에 PZT 를 설치하여 미세하게 각도조절을 가능하게 하였다. 진동의 영향을 작게 하기 위해 하나의 몸체로 구성하였으며, 온도에 따른 주파수의 변화를 막기 위해 온도안정화를 수행하였으며, 이를 위해 온도 센서와 열전 소자를 설치하여 구성하였다. 출력은 Littrow 구조로 구성하여, 단일 모드 출력으로 4 mW의 결과를 얻었다. 출력광의 파장은 75 mA, 22°C, PZT 9 V 조건에서 모드튕 현상 없이 636 nm 였다. 이때 공진기 길이는 65 mm 로서, 반사율이 변하지 않았다고 하고, 다이오드 자체 공진기 길이가 600 μ m 라고 가정할 때, 이론적으로 선폭 축소는 원래의 선폭보다 10000배 축소되어야 한다. 그러나 외부의 열적 잡음과 진동 등으로 인하여, 선폭 축소는 한계를 갖는다. 선폭 측정 실험은 광주파수 분석기를 이용하여 수행하였으며 실험결과, 선폭은 광주파수 분석기의 분해능 한계인 40 MHz 에 해당하였다. 이는 더욱 분해능이 높은 광주파수 분석기를 이용하면 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이라고 예상된다.

본 연구에서 레이저 주파수 안정화 방법으로 쓰인 것은 수정된 PDH 방법으로, PDH 방법의 위상 변조 대신에 주파수 변조를 통해 피크 신호를 검출하고, 제어 신호를 얻었다[2][3]. 이때 피크 신호를 얻는 방법으로는 패브리 페로 공진기를 사용하였으며, 온도에 따른 주파수 변화를 최소화하기 위해 열팽창계수가 가장 낮은 제로두 (Zerodur)를 사용하였다. 제로두의 열팽창계수는 0.03 ppm/°C이다. 패브리 페로 공진기의 뒷단에서 피크신호를 검출하였으며, 공진 모드의 피크를 검출하기 위해서 lock-in 앰프를 사용했는데, lock-in 앰프는 특정 주파수와 위상을 가진 기준 주파수 성분을 가지고 있는 신호를 검출하거나 측정할 수 있는 장치로써 거의 나노 전압 수준의 신호도 검출이 가능하다. Lock-in 앰프는 위상 민감 검출(phase sensitive detection)방법을 사용하는데 이 방법을 사용하기 위해서는 검출하기 원하는 신호에 특정 주파수를 변조시켜야 한다[4]. 주파수를 변조하는 방법으로는 전류를 변조하는 방법을 이용하였다. 이와 같이 주파수를 변조시키면서, 패브리 페로 공진기의 공명 주파수 근처로 레이저가 발진하게 되면 피크 신호와 제어신호를 얻을 수 있다. 이 제어 신호를 PZT 드라이버의 입력으로 넣어서, 격자의 각도를 미세하게 조절하여 주파수를 제어함으로써, 레이저 주파수 안정화를 수행하였다. 이때 변조 주파수는 3 kHz 였다. 그림 1은 레이저 다이오드 시스템의 개략도와 제어를 보이고 있다. 이때 안정도 평가는 제어 신호로 PZT 드라이버에서 가하는 제어 전압에 따른 주파수 변화를 계산하여 주파수 변화를 측정하였다. PZT 1V에 해당하는 주파수 변화값은 1.56 GHz에 해당하며, 제어신호에 따른 안정도를 평가하였다. 측정결과 안정도는 4.96×10^{-8} 의 결과를 얻었으며, 알란 분산의 제곱근 값은 0.1 초의 적분시간을 기준으로 4.96×10^{-9} 의 결과를 얻었다.

이때 주파수 안정도에 영향을 미치는 요인들은 다음과 같다. 먼저 가장 지배적으로 영향을 미치는 요인은 온도에 따른 영향이다. 먼저 외부 공진기를 알루미늄으로 구성하였기 때문에 온도 변화에 따른 공진기 길이 변화가 주파수 변화에 크게 영향을 미친 것으로 생각된다. 또한 패브리 페로 공진기에 사용된 제로두 역시 그 정도는 작으나 온도변화에 따른 주파수 변화가 주파수 안정도에 영향을 미쳤다. 두 번째로는 진동의 영향을 생각할 수 있다. 진동의 영향을 줄이도록 노력하였으나 제어시 진동에 크게 영향을 받았다. 세 번째로는 기계적 제어에 따른 영향을 생각할 수 있으며, 네 번째로는 제어시 사용한 전기적장비인, lock-in amp., current driver, PZT driver 등의 잡음에 의한 영향을 들 수 있다. 마지막으로 구성을 함에 있어서 정렬상의 오차를 생각할 수 있다.

참고문헌

- [1] 신운섭, 외부 공진기형과 상호 결합형 레이저 다이오드의 특성 연구, 박사학위 논문, 한국과학기술원 (2000)
- [2] R. W. P. Drever, Laser Phase and Frequency Stabilization Using an Optical Resonator, Appl. Phys. B31, pp.97-105 (1983)
- [3] Eric Black, Notes on the Pound-Drever-Hall technique, Technical Note, LIGO Project (1998)
- [4] Amnon Yariv, Optical Electronics 4th edition (1991)