

# ULE 기준공진기와 AOM을 이용한 다이오드 레이저의 주파수 안정화

## Frequency Stabilization of Diode Laser with ULE Reference-cavity and AOM

박완일, 최용석, 안경원

한국과학기술원(KAIST) 거시양자광레이저연구단(CMQL)

nadero@kaist.ac.kr

단원자를 이용한 Cavity-QED 실험을 위해서는 고분해능 분광학이 필수적 요소이며, 이에 따라, 좁은 선폭의 레이저가 필요하게 된다. 본 실험에서는 기준공진기를 이용한 전류피드백방법의 1단계와, AOM(Acousto Optic Modulator)을 이용한 주파수 보정의 2단계를 거쳐 다이오드 레이저의 주파수를 안정화하였다.

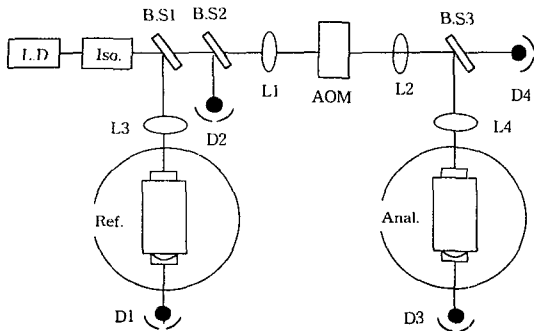


그림1. 장치도

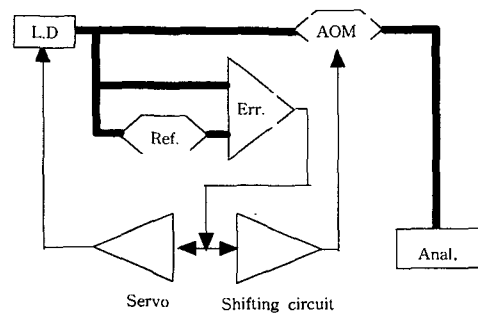


그림2. 개념도

그림1은 실험장치도이다. 실험에서 사용된 안정화의 대상은 New Focus사의 파장이 780.24nm인 Vortex 다이오드 레이저로써, PZT에 의한 주파수 변조와 전류 변조를 통해 동조할 수 있다. 최대변조폭은 주파수 변조의 경우 DC-3.5kHz의 대역폭에서 80GHz이며, 전류 변조의 경우 DC-1MHz의 대역폭에서 100MHz이다. 한편, 광피드백에 의한 레이저의 모드튕 현상을 방지하기 위해 optical isolator(Isowave, 38dB)를 사용하였으며, 레이저 빔을 공진기 모드에 결합시키기 위해 렌즈를 사용하였다. 광검출기는 실리콘 핀 다이오드(EG&G, FFD-100)를 사용하였다. 기준공진기는, 길이가 20cm이며 0°C~35°C에서 0±0.03ppm의 열팽창율을 갖는 ULE(Ultra Low Expansion)재질의 spacer와 780~791nm에서 반사율이 98%인 두개의 BK-7재질의 거울을 사용하여 온도의 영향을 최소화 할 수 있도록 제작하였다. 기준공진기의 자유스펙트럼영역과 선폭은 각각 750MHz와 4.83MHz였다. 스펙트럼분석용 공진기에는 길이가 10cm인 BK-7재질의 spacer를 사용하였고, 1.484GHz의 자유스펙트럼영역과 10.55MHz의 선폭을 갖는다. 기준공진기의 역학적 안정성을 향상시키기 위한 외부 진동의 차단방법으로 스프링상수가

각기 다른 고무 등을 이용한 수동적차단 방법을 택하였고 온도 및 압력변화와 공기를 통해 전달되는 acoustic wave에 의한 잡음의 영향을 최소화하기 위해 공진기를 진공상자 안에 설치하였다. AOM(ISOMAT, 1250C)은 입사되는 빛에 대하여 150MHz에서 최대 250MHz까지 주파수 이동된 1차 회절성분의 빛을 얻을 수 있으며, 주파수 이동은 입력전압에 대하여 선형적이다. 실험에서 AOM에 입력되는 오차신호의 전압은 수 mV의 매우 작은 값이므로 offset전압을 중간값인 200MHz에 맞도록 조정함으로써 AOM이 입력신호에 대하여 가장 효율적으로 동작할 수 있도록 하였다.

안정화의 제1단계에서는 기준공진기의 투과신호에서 기울기가 가장 큰 지점에, 전류되먹임에 의한 방법으로 레이저의 주파수를 잠금하였다. 전류되먹임을 위해서 자체 제작된 되먹임회로(servo)는 적분시간이 1.3초 정도인 적분기와 16kHz까지를 선형증폭하는 증폭기를 포함하고 있다. 일반적으로 전류의 변화는 레이저의 세기의 변화를 유발한다. 실험에 사용된 레이저의 경우 그 변화율은 문턱전류 이상에서  $0.4W/A$ 이며 안정화를 위해 되먹임되는 전류의 크기는 대략  $10\mu A$ 이므로 그에 따른 출력의 변화는  $4\mu W$  정도이다. 이 값은 되먹임을 하지 않은 상태에서의 레이저 출력의  $1/2500$ 에 지나지 않으므로 기준 신호나 주파수 안정화에 주는 영향을 무시할 수 있다. 잠금된 상태에서 레이저의 선폭은 free-run상태에서의  $1.5MHz(rms)$ 에서  $46kHz(rms)$ 로 현저히 줄어들었다. 그림3은 잠금 전후의 Allan 분산의 제곱근을 나타낸 그래프이며, 10ms 이상의 적분시간동안 2kHz 이내의 값을 보였다.

제2단계 안정화과정에서는 제1단계에서 제거하지 못한, 레이저 시스템 자체의 4kHz의 역학적 공명결합에 의한 잡음을 제거하기 위해 AOM을 이용하였다. 즉, 레이저의 잠금을 위해서 얻어낸 오차신호의 크기를 조절하여, 잡음에 의한 주파수 변화에 대하여 반대 위상으로 주파수가 이동되도록 AOM의 동조 전압입력단자에 가해주었다.

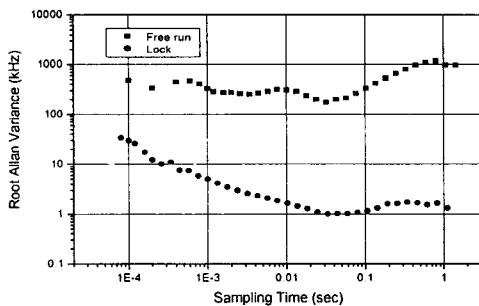


그림3. Root Allan Variance

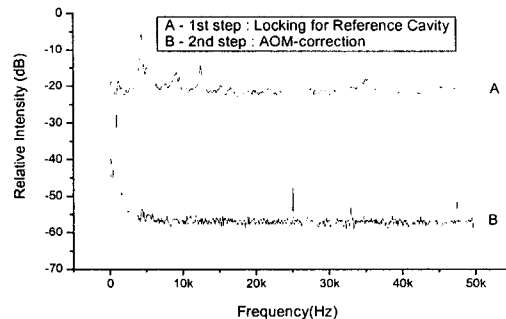


그림4. FFT of Error signal

그림3의 제1단계 안정화에 따른 Allan 분산의 제곱근을 보면 적분시간( $\tau$ )이 길 때 그 크기가 증가하는 양상을 볼 수 있다. 이는 기준공진기를 제작할 때 거울 접착시 사용한 접착제의 열팽창에 의한 공진기 자체의  $300Hz/s$  속도의 표류 때문인 것으로 보인다. 그림4는 각 단계에서 얻은, 안정화된 상태에서의 오차신호를 푸리에변환한 것이다. 이 그림에서 기준공진기에 잠금된 상태의 오차신호에는 4kHz의 잡음 성분이 가장 크게 나타나고 있고, AOM을 통해 보정된 후의 신호에는 4kHz의 잡음은 제거되었지만 새로운 1kHz의 잡음이 생겨났음을 볼 수 있다. AOM-보정신호는 스펙트럼분석용 공진기를 진공상자 안에 설치하기 전의 것으로서, 1kHz의 잡음은 스펙트럼분석용 공진기가 외적으로 가해지는 acoustic wave에 대하여 공명결합을 하기 때문에 나타난 것으로 보인다. 본 논문에서는 분석용 공진기를 진공상자에 설치함으로써 얻게 될 최종적인 결과에 대하여 논의 하고자 한다. 본 연구는 과학기술부 창의적연구진흥 사업의 지원으로 얻어진 결과임.