

변조전달분광신호를 이용한 외부공진기형 다이오드레이저의 주파수안정화

Frequency Stabilization of Extended-Cavity Diode Laser using the Modulation Transfer Spectroscopy

박상언, 박영호*, 권택용, 유대혁, 최상경, 신은주, 이호성
한국표준과학연구원 광기술표준부, *한양대학교 물리학과
parkse@kriss.re.kr

반도체 레이저는 광통신, 분광학, 원자물리 등에 폭넓게 사용되고 있다. 특히, 레이저를 이용한 원자의 냉각실험에서는 중요한 광원이다. 반도체 레이저는 다른 레이저에 비해 값이 싸고 작은 전류만으로 발진시킬 수 있다는 장점을 가지고 있으며, 또한 온도나 전류를 변화시키면 레이저의 파장이 변하기 때문에 분광학 등 파장가변 레이저가 필요한 분야에 많이 사용되고 있다. 본 연구실에는 외부공진기형 반도체 레이저를 개발하여 광펄핑 세습원자시계, 저속원자빔시계, 원자분수시계 개발 등의 광원으로 사용하고 있다. 이러한 실험에 반도체 레이저를 사용하기 위해서는 레이저의 주파수안정화가 필수적이다.

레이저의 주파수를 원자의 공진선에 안정화하는 방법에는 여러 가지가 있는데, 최근에는 변조전달분광(Modulation Transfer Spectroscopy)신호를 이용하는 방법이 많이 사용되고 있다.^(1,2) 변조전달분광이란 원자 증기셀과 같은 비선형 매질 내에서 주파수가 변조된 펄프광이 반대방향으로 진행하는 변조되지 않은 조사광으로 전달되어 나타나것을 말한다. 변조전달분광신호를 이용하여 레이저의 주파수를 안정화하게 되면 주파수변조분광(Frequency Modulation Spectroscopy)에서와 같이 주파수 오차신호의 bandwidth가 넓어 고속으로 안정화를 할 수 있을 뿐만 아니라, Doppler background에 무관한 주파수 오차신호를 얻을 수 있다는 장점도 가지고 있다.

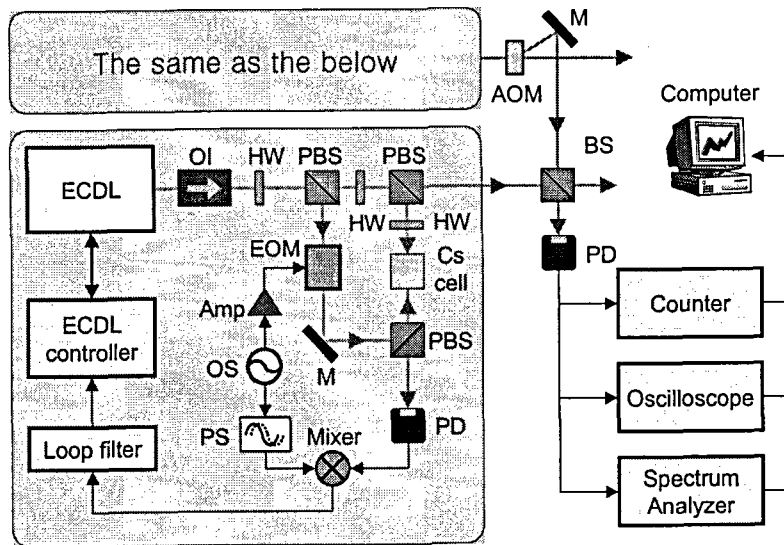


그림 1. 변조전달분광신호를 이용한 ECDL의 주파수안정화 실험장치도. (OI: optical isolator, HW: half-wave plate, PBS: polarizing beam splitter, BS: beam splitter, EOM: electro-optic modulator, AOM: acousto-optic modulator, Amp: RF amplifier, OS: oscillator, PS: phase shifter, M: mirror, Mixer: double-balanced mixer, PD: photo detector)

그림 1은 서로 독립적인 두 ECDL(Extended-cavity diode laser)의 주파수를 변조전달분광신호를 이용하여 안정화하고, 주파수 안정도를 측정하는 실험장치도를 나타낸다. 그림 1에서 보는 바와 같이 변조전달 실험장치는 기본적으로 포화흡수분광 실험장치와 흡사하다. 세습 증기셀로 입사하는 펌프광의 위상을 주파수가 5 MHz인 전기광변조기(EOM)를 이용하여 변조시키고 광검출기에서 얻은 변조된 조사광을 double-balanced mixer나 phase detector를 이용하여 위상민감검출을 하게된다. 이때 mixer에 입력되는 5 MHz 기준발진기의 위상을 변화시킴에 따라 주파수 오차신호의 모양이 변하게 되는데, 그 크기와 기울기가 최대가 되도록 위상을 조절하였다. 레이저의 주파수를 원자의 공진선 (Cs D2전이선, $F=4 \rightarrow F'=5$)에 안정화하기 위해 변조전달분광신호를 loop filter를 거친 후 ECDL의 전류와 PZT로 되먹임하였다.

그림 2 (a)는 세습 D₂ 전이선 중 바닥상태 $F=4$ 에서 여기상태 $F'=3, 4, 5$ 전이선에 해당하는 포화흡수분광신호를, 그림 2 (b)는 변조전달분광신호를 나타낸다. 변조전달분광신호의 경우 Doppler background가 없는 분산형 주파수 오차신호를 보여주고 있는데, 크기가 가장 큰 신호가 $F=4 \rightarrow F'=5$ 전이선에 해당한다. ECDL의 주파수 안정도를 측정하기 위해 두 레이저광을 광분할기를 이용하여 합친 후 그 맥놀이 주파수를 주파수카운터를 이용하여 측정하였다. 이때 한대의 레이저는 75 MHz 음향광변조기(AOM)를 이용하여 주파수를 이동시켰다. 그림 3은 주파수카운터로 측정한 맥놀이 주파수의 변화를 Allan deviation으로 나타낸 결과인데, 적분시간 1초에서 주파수안정도는 1.4×10^{-11} 으로 측정되었다. 적분시간 0.01초에서 0.1초 사이가 그 주위의 적분구간에 비해 안정도가 나쁘게 나온 원인은 60 Hz 전기적 잡음이나 진동에 의한 영향으로 생각이 되는데, 앞으로 loop filter의 특성을 최적화하여 주파수안정도를 개선할 계획이다.

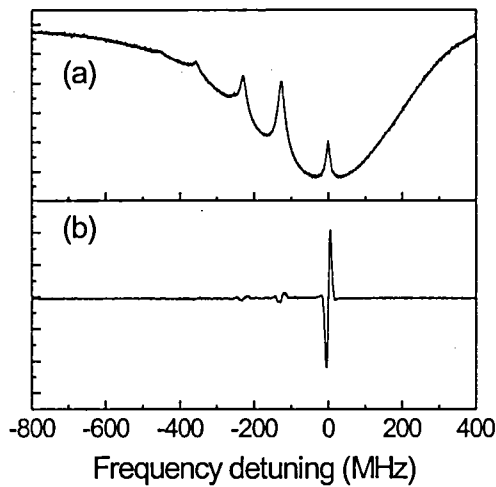


그림 2. 세습 D₂전이선의 포화흡수분광신호(a)와 전형적인 변조전달분광신호(b). 그림에서 주파수 detuning이 0인 위치가 세습 D₂ $F=4 \rightarrow F'=5$ 전이선에 해당하는 주파수임.

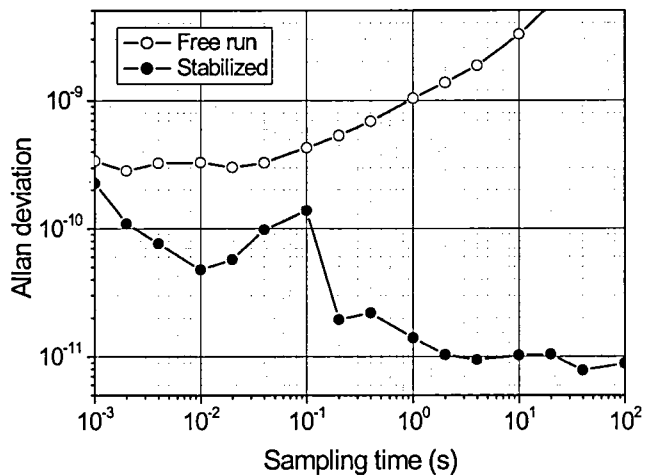


그림 3. 두 레이저의 맥놀이주파수를 이용하여 측정한 주파수안정도.

참고문헌

1. J. H. Shirley, "Modulation transfer processes in optical heterodyne saturation spectroscopy," Opt. Lett., vol. 7 pp. 537-539, (1982).
2. F. Bertinetto, P. Cordiale, G. Galzerano, "Frequency stabilization of DBR diode laser against Cs absorption lines at 852 nm using the modulation transfer method" IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 50, pp. 490-492 (2001).