

# 9 GHz 전기광변조기를 이용한 반도체 레이저의 주입잠금 Injection-Locking of Semiconductor Lasers Using a 9 GHz Electro-Optic Modulator

박상언, 이호성, 권택용, 양성훈, 조혁\*  
한국표준과학연구원 시간주파수 그룹, \*충남대학교 물리학과  
parkse@kriss.re.kr

반도체 레이저는 광통신, 분광학, 원자물리 등에 폭넓게 사용되고 있다. 특히, 레이저를 이용한 원자의 냉각실험에서는 중요한 광원이다.

세슘원자의 바닥상태  $6S_{1/2}$ 에는 두 개의 초미세 준위가 존재하는데, 이 두 준위사이의 stimulated Raman 전이를 이용하면 Raman 냉각, Raman 속도선택, 원자간섭계, optical Ramsey 신호관찰 등의 실험에 응용할 수 있다. 이를 위해서는 두 바닥상태의 주파수에 해당하는 9.2 GHz만큼 차이가 나는 두 대의 레이저(852 nm)가 필요하며, 각 레이저의 절대선폭(absolute linewidth)은 중요하지 않지만 두 레이저의 상대선폭(relative linewidth)이 stimulated Raman 전이선의 선폭( $\sim 5$  kHz)보다 작아야만 한다. 이러한 레이저를 만드는 방법으로는 주파수가 9.2 GHz 차이가 나는 두 레이저의 맥놀이(beat) 신호를 이용하여 전기적으로 되먹임하는 광위상잠금(optical phase-locking)방법과 4.6 GHz 음향광변조기(acousto-optic modulator)를 이용해  $\pm 1$ 차 회절된 광을 두 레이저에 각각 주입잠금(injection-locking)하는 방법, 그리고 주레이저(master laser)의 위상을 전기광변조기(electro-optic modulator)를 이용하여 9.2 GHz로 변조시켜 발생된 1차 측대파(1st-order sideband)를 종레이저(slave laser)에 주입잠금하는 방법<sup>(1)</sup> 등이 있다.

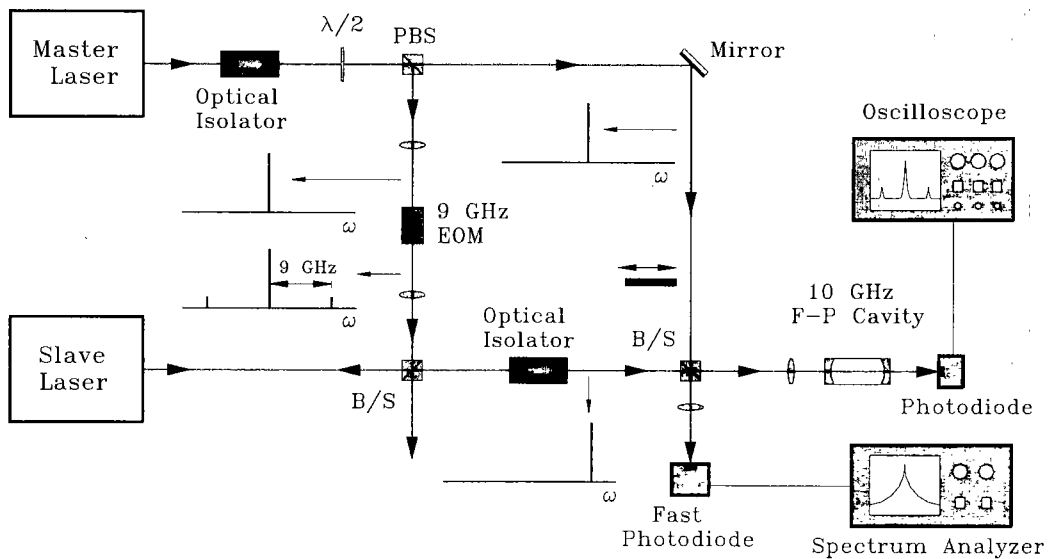


그림 1. 주파수가 9 GHz 차이 나는 두 레이저의 주입잠금을 위한 실험장치도

본 연구에서는 9 GHz 전기광변조기를 이용하여 반도체 레이저에 주입잠금하는 방법을 이용하여 두 레이저의 상대선폭을 300 Hz 이하로 축소하였다.

주입잠금을 위한 실험장치도가 그림 1에 나타나 있다. 주레이저광의 일부를 전기광변조기를 통과시켜 레이저광의 위상을 9 GHz로 변조하였다. 캐리어(carrier)로부터 각각 9 GHz 차이가 나는 2개의 측대파(sideband)를 만든 후, 광분할기(B/S)를 이용하여 종레이저(slave laser)에 주입시켰다. 이때 종레이저는 주입전류를 조절하여 변조된 레이저의 측대파와 가까운 주파수에서 발진되도록 하였다. 이렇게 하여 종레이저의 주파수가 9 GHz 차이가 나면서 주레이저에 위상잠금이 된다. 주입잠금된 두 레이저를 빠른 광검출기로 beat 주파수를 검출하여 이를 스펙트럼 분석기로 관찰한 결과가 그림 2에 나타나 있다. 두 레이저의 상대선폭은 그림에서 보는바와 같이 스펙트럼 분석기의 분해능 이하(300 Hz)인 것으로 관찰되었다.

그림 3은 주입되는 레이저광의 세기에 따라 주입잠금 범위가 변하는 것을 포화흡수분광신호를 이용하여 관찰한 결과이다. 주레이저와 종레이저의 분광신호는 각각 세슘 D<sub>2</sub>전이선의 F=4→F'=3,4,5와 F=3→F'=2,3,4에 해당한다. 주입광의 세기가 커질수록 잠금 범위가 점점 넓어지는 반면, 원하지 않는 캐리어가 발진하면서 분광신호가 변형되는 것을 볼 수 있다. 종레이저에서 캐리어 주파수가 발진하는 현상을 관찰하기 위해 자유분광범위(Free Spectral Range)가 10 GHz인 공초점 공진기형 광스펙트럼 분석기(Melles Griot사의 모델 13SAE045)로 스펙트럼을 관찰하였다. 주입광의 세기가 커질수록 캐리어에 의한 주입잠금 현상이 커지는 것을 볼 수가 있었다. 그러나, 본 연구에서 주입광의 세기를 5 μW 이하로 줄이면 측대파의 크기를 -30 dB 이하로 줄일 수 있었다.

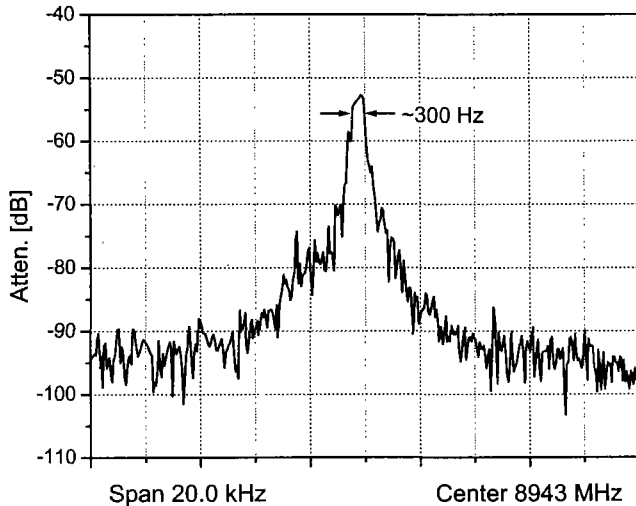


그림 2. 스펙트럼 분석기로 관찰한 두 레이저의 맥놀이(beat) 신호. (resolution bandwidth : 300 Hz).

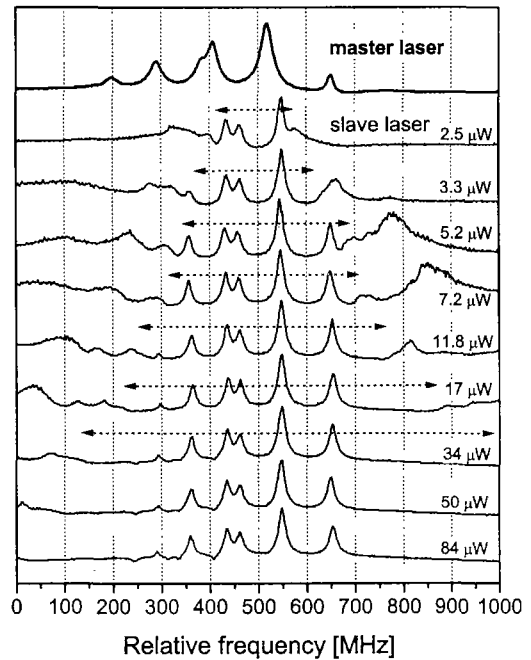


그림 3. 주입광 세기에 따른 주입잠금 범위의 변화.

[참고문헌]

1. K. Szymaniec, S. Ghezali, L. Cognet, A. Clairon, "Injection locking of diode lasers to frequency modulated source," Opt. Commun. 144, 50 (1997).