

광빔 주입잠금된 DBR 레이저를 이용한 광시계 구현

Realization of Optical Clock using Optical Comb Injection-Locked DBR Laser

박상언*, 김억봉*, 박창용*, 권택용*, 박영호*, 윤태현**

*한국표준과학연구원 기반표준부, **고려대학교 물리학과

parkse@kriss.re.kr

모드잠금 펄초레이저는 시간영역에서 극초단펄스의 반복률(repetition rate)이 주파수영역에서의 주파수 간격과 일치하는 광주파수 빔(optical frequency comb)으로 나타낼 수 있다. 이러한 광빔의 특성은 반복률(f_{rep})과 옵셋주파수(f_0)라는 두 가지 변수로 나타낼 수 있으며, N 번째 광빔의 주파수는 $N \times f_{rep} + f_0$ 로 표현된다. 반복률과 옵셋주파수를 세슘원자시계를 이용하여 안정화하게 되면, 레이저와 같은 광영역의 절대 광주파수를 원자시계의 불확도로 측정할 수 있다. 한편 반복률과 옵셋주파수를 원자나 분자의 광 전이선을 이용하여 안정화하면 이른바 광주파수표준기 또는 광시계가 되며, 여기서 얻어진 반복률은 마이크로파 영역의 기준주파수로 사용될 수 있다. 이와 같이 모드잠금 펄초레이저는 광과 마이크로파 영역 사이의 다리역할을 하게 된다. 그러나 광빔의 각 모드당 출력이 낮아 광주파수 측정시 신호 대 잡음비가 낮다는 단점이 있고, 광빔 중 우리가 원하는 한 개의 모드만 선택하여 원자나 분자의 고분해능 광 실험에 이용하기가 어려웠다. 최근 본 연구실에서는 펄초레이저를 DBR (distributed Bragg reflector)레이저에 주입잠금하여 광빔 중 한 개의 모드만 선택적으로 60 dB 증폭할 수 있었고,^(1,2) 이 방법을 이용하여 세슘 D2 전이선에 대한 고분해 분광실험과 절대 광주파수 측정에 성공적으로 적용하였다.^(1,3)

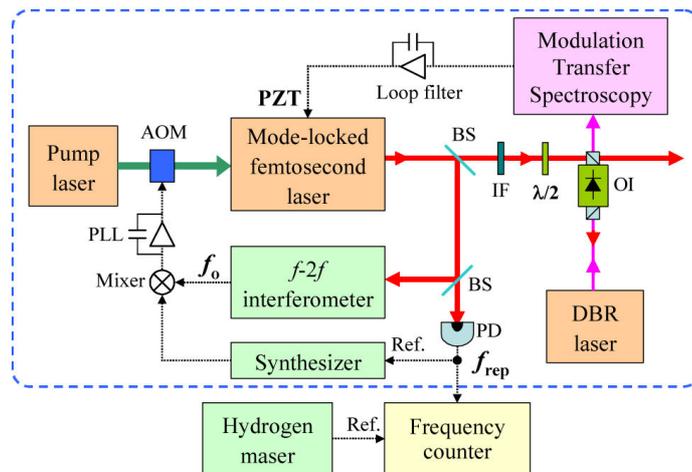


그림 1. 실험장치도. (M: mirror, IF: interference filter, $\lambda/2$: half-wave plate, OI: optical isolator, PZT: piezo-electric transducer, BS: beamsplitter, PD: photo-detector, PLL: phase-locked loop).

본 연구에서는 펄스초레이저에 주입잠금된 DBR 레이저를 이용하여 세슘원자 D2 전이선 중 $F=4 \rightarrow F=5$ 전이선에 대한 변조전달분광(modulation transfer spectroscopy) 신호를 관측하고, 이 신호에 모드 잠금 펄스초레이저의 반복률과 읍셋주파수를 안정화하는 방식으로 광시계를 구현하였다.

그림 1은 실험장치도를 나타낸다. 주레이저(master laser)로는 반복률이 1.05 GHz인 모드잠금 펄스초레이저를 사용하였다. 광빔의 중심파장과 그 폭은 각각 820 nm와 30 nm이다. 종레이저(slave laser)로는 파장이 852 nm인 DBR 레이저를 사용하였고, 세슘 D2 전이선 부근의 광빔만 주입잠금하기 위해 중심파장과 그 폭이 각각 852.3 nm, 1.5 nm인 간섭필터를 사용하였다. 주입잠금된 DBR 레이저광의 공간모드를 필터링하기 위해 편광보존광섬유를 사용하여 변조전달분광장치로 전송하였다. 또한 레이저광 세기를 음향광변조기를 사용하여 안정화 하였다. 그림 1에서 점선으로 된 사각형 안쪽은 광시계를 구현한 실험장치도를 나타내고, 점선 밖은 광시계의 안정도를 측정하는 장치이다. 그림 2는 주입잠금된 경우와 그렇지 않은 경우 DBR 레이저의 주파수 변화에 대한 세슘 D2 $F=4 \rightarrow F=5$ 전이선의 변조전달분광신호를 나타낸다. 주입잠금이 일어난 경우 레이저의 선폭이 축소되면서 변조전달분광신호의 잡음이 현저하게 감소되는 것을 관찰할 수 있다. 변조전달분광신호 중 $F=4 \rightarrow F=5$ 전이선에 광빔의 반복률을 안정화하고, 반복률을 기준주파수로 사용하는 주파수합성기를 사용하여 읍셋주파수를 위상잠금 하였다. 그림 3에서 보는바와 같이 안정화하지 않은, 즉 자유발진하는 펄스초레이저 반복률의 안정도는 적분시간 1초에서 약 1.2×10^{-9} 이고 적분시간이 길어질수록 그 안정도가 나빠지는 것을 볼 수 있다. 반면 펄스초레이저가 세슘원자의 변조전달분광신호로 안정화되어 광시계로 동작하는 경우, 반복률의 안정도는 적분시간 1초에서 약 2×10^{-13} 으로 측정되었다. 이것은 수소메이저의 안정도와 같은 결과로서, 현 측정시스템의 한계로 판단된다. 따라서 구현된 광시계의 실제 안정도는 이 보다 더 좋을 것으로 예상된다.

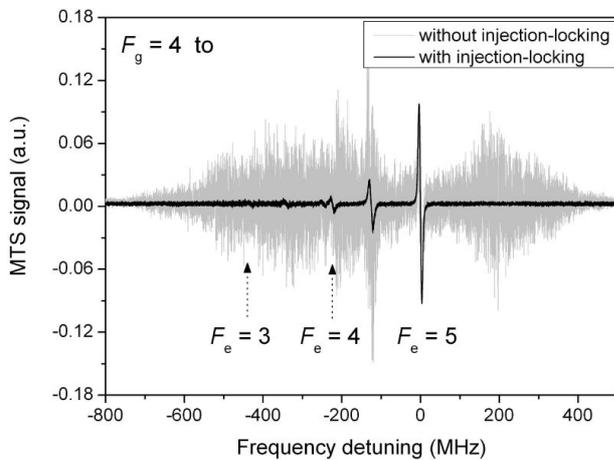


그림 2. 주입잠금된 경우와 그렇지 않은 경우 세슘 D2 전이선에 대한 변조전달분광신호.

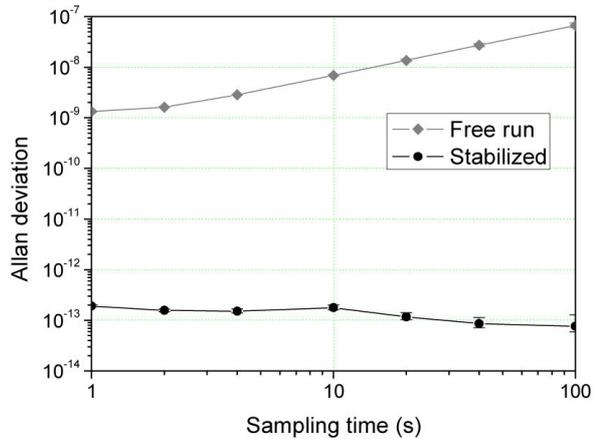


그림 3. 세슘원자 변조전달분광신호에 안정화된 경우와 자유발진 하는 경우 광빔 반복률의 안정도(Allan 분산).

참고문헌

1. S. E. Park, E. B. Kim, Y.-H. Park, D. S. Yee, T. Y. Kwon, C. Y. Park, H. S. Moon, and T. H. Yoon, Opt. Lett. Vol.31, p.3594 (2006).
2. H. S. Moon, E. B. Kim, S. E. Park, and C. Y. Park, Appl. Phys. Lett. 89, p181110 (2006).
3. E. B. Kim, S. E. Park, C. Y. Park, D.-S. Yee, T. Y. Kwon, H. Cho, H. S. Lee, IEEE. Trans. Instrum. Meas. (to be published).