

# Balanced Homodyne Detection 방식을 통한 펨토초 레이저 펄스의 절대위상 안정화 Carrier-Envelope-Phase Stabilization of Femtosecond Laser by the Balanced Homodyne Detection

유태준, 최형규, 성재희, 홍경한, 최일우, 노영철, 고도경, 이종민  
광주과학기술원, 고등광기술연구소, 펨토과학연구소  
김준원, 김동연  
포항공대, 물리학과  
\*tjyu@apri.gist.ac.kr

펨토초 레이저 기술이 발전하면서, 레이저 펄스폭이 5 펨토초 미만으로 극히 짧아지게 되었다<sup>(1)</sup>. 이렇게 짧은 펄스로 실험을 하면서 레이저 펄스의 포락선의 봉우리와 포락선 진동을 하는 반송파간의 시간차 또는 위상차의해 지배받은 정밀한 실험 현상들이 보고되었다. 그리고 이런 위상차를 절대 위상이라 부르며 최근 5년간 이를 제어하는 실험과 응용실험들이 나오게 되었다<sup>(2-4)</sup>.

펨토초 레이저의 절대 위상을 제어하는 방식은 두 가지가 있다. 하나는 절대 위상을 직접적으로 보지 않고 수십 MHz의 반복율로 발생하는 펄스와 펄스 간에 절대 위상의 흐름을 주파수 영역에서 관측하고 이를 Phase Lock Loop를 통해 절대 위상의 흐름을 일정하게 하는 방식이다. 다른 하나는 절대 위상을 시간 영역에서 직접적으로 관측하고 기존의 되먹임회로를 통해 절대 위상을 어떤 임의의 값으로 일정하게 하는 방식이다. 후자를 Direct Locking 방식이라 부른다<sup>(5)</sup>.

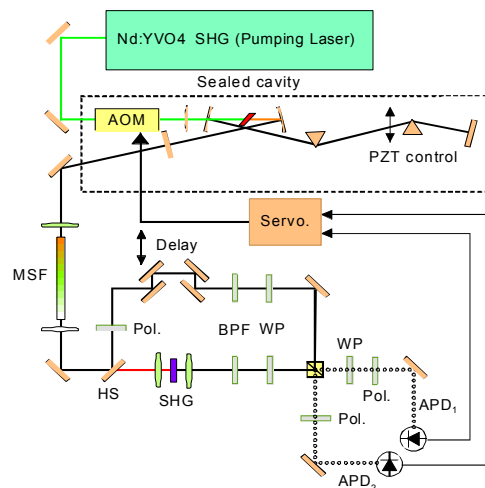


그림 1. Balanced homodyne 검출방식을 통한 절대 위상제어 실험도. (AOM: acusto-optic modulator, MSF: micro-structure fiber, HS: harmonic separator, Pol.: polarizer, SHG: second harmonic generation, BPF: band-pass filter, WP: half-wave plate, APD; avalanche photodiode)

기존의 Direct locking 방식은 하나의 검출기는  $f-2f$  간섭계에서 발생하는 간섭신호를 측정하고 다른 하나의 검출기는 간섭신호의 간섭신호는 보지 않고 평균출력을 측정하여, 이 두 신호의 차이를 통해서 절대 위상을 측정하고 제어하는 방식이었다. 본 발표에서는 balanced homodyne 검출기를 통해 Direct Locking을 구현하였다. 이 방식은 두개의 검출기가 동식에 간섭신호를 측정하는 대신, 각각의 간섭신호의 위상이 180도 차이가 나게 되어 있다. 하지만 두 검출기의 감도와 반응속도를 동일하게 맞추어서 검출기에서 측정되는 평균 출력은 같다. 이 두 검출기의 신호의 차이를 통해 절대 위상을 측정하며, 이를 제어한다. 절대 위상이 제어되었을 때 그림 2와 같은 특성을 가진다.

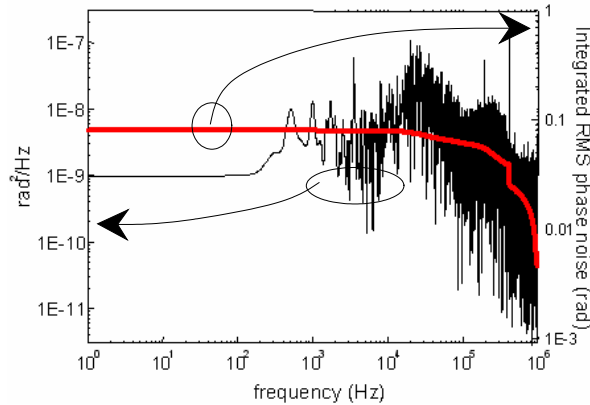


그림 2. 절대 위상이 안정화 되었을 때의 phase noise spectrum(왼쪽)과 Intergrated RMS phase noise(오른쪽)

Balanced homodyne 검출기를 통해 절대위상을 Direct locking 방식으로 제어한 결과 절대 위상이 0.06 rad정도로 안정화 되었으며 지속시간은 10분이었다. 앞으로 레이저 발진기와 절대 위상 측정 간섭계사이의 공기흐름을 제어하여 지속시간을 늘리고자 한다.

참고문헌

1. U. Morgner et al., Opt. Lett. 24, 411-413 (1999).
2. G.G. Paulus et al., Nature 414, 182-184 (2001)
3. A. Baltuska et al., Nature 421, 611-615 (2003)
4. H. R. Telle et al., Appl. Phys. B 69, 327-332 (1999)
5. Y. S. Lee et al., Opt. Express 13, 2969-2975 (2005)