Study on Carrier-Envelope Offset Frequency Changing under the Unstable Condition of a Femto-Eecond Laser Cavity.

김준원, 김동언. (소속) 포항공과대학교 물리학과
유태준, 최형규, 홍경한, 성재희, 최일우, 노영철, 고도경, 이종민. (소속) 광주과학기술원 고등광기술연구소
sian6cyy@postech.ac.kr

CEP(Carrier Envelope Phase)는 펨토초 모드락 펄스 레이저에서 포락선(Carrier)과 실제 전기장(Envelope) 사이의 위상차이다[(1)]. 수 사이클의 펄스 레이저에서는 이 위상차를 조절할 수 있는 것이 하고자 하는 실험 가능 여부의 중요한 변수가 될 수 있다. 이 위상차를 실시간으로 직접 알아내는 것은 어렵고 간섭계를 이용해 간접적으로 파악할 수 있다. 간섭계를 통해 fceo(Carrier Envelope Offset frequency, 기본적으로 군속도와 위상속도의 차이에 의해 포락선과 실제전기장 사이의 위상차는 펄스마다 일정하게 변해야 하지만 공진기 내부의 공기흐름, 실험실 내의 온도 변화, 진동 등 여러 가지 이유에 의해서 일정하게 변하지 않고 불규칙적으로 변하게 된다. 그러므로 fceo값이 일정하지 않고 불규칙적으로 변한다.[(2)])를 얻을 수 있는데, 이것을 보면 현재 CEP가 변하는 양상을 간접적으로 파악할 수 있다[(3)]. 본 실험장치상황에서는 fceo를 0으로 만들어 CEP를 펄스마다 하나의 값으로 고정하게 될 것이다. 이것을 위해 AOM으로 펌프 레이저의 에너지를 조절한다. fceo를 조절하기 위해 펌프 레이저의 에너지의 변화시킬 때, 그 값은 펌프 레이저의 에너지 변화에 따라 보통 선형적으로 변한다. 그러나, 펨토초 모드락 레이저 공진기의 CEP를 조절하는 실험에서, 경우에 따라 펌핑 레이저 파워의 변화에 따라 fceo가 선형적으로 증가 혹은 감소하지 않는 현상을 관찰할 수 있다. 그 원인을 펨토초 모드락 레이저의 상태변화로 가정하고, 그것을 위해 다음과 같은 내용을 조사해 보았다. 펌프레이저 에너지 변화에 따른 펨토초 모드락 레이저의 스펙트럼 변화

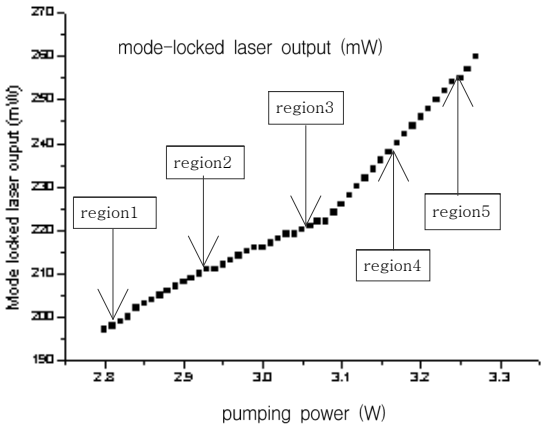

그림 1. 펌프 레이저의 에너지 vs. 펨토초 모드락 레이저의 출력. 위 그림의 region1~5는 스펙트럼을 얻은 위치를 나타냄. region3에서 데이터의 기울기가 바뀌는 것을 볼 수 있다. region3은 펌프 레이저 에너지가 대략3.08W인 지점이다.

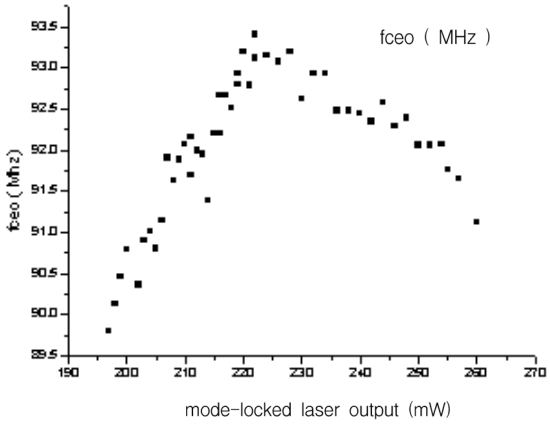

그림 2. 펨토초 모드락 레이저의 출력 vs. fceo. 펨토초 모드락 레이저의 출력이 222mW인 지점을 기점으로 서로 다른 기울기를 가진다. 222mW 이전에는 10.92KHz/mW, 그 이후는 -5.06KHz/mW이다.

와 펨토초 모드락 레이저의 에너지 변화를 측정하여 상태가 변화하였는지 여부를 관찰하였다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 펌프 레이저 에너지가 약 3.08W인 지점에서 펨토초 모드락 레이저의 출력 곡선 그래프의 기울기가 바뀌었다. 즉, 펨토초 모드락 레이저의 상태가 변한 것을 간접적으로 알 수 있다. 동시에 fceo의 변화 양상을 살펴보았는데, 펌프 레이저 에너지 3.08W(이 때 mode-locked pulse laser output은 222mW 임)를 기점으로 이전은 10.92(kHz/mW)의 기울기를, 이후는 -5.06(kHz/mW)의 기울기를 갖게 됨을 관찰하였다. 펨

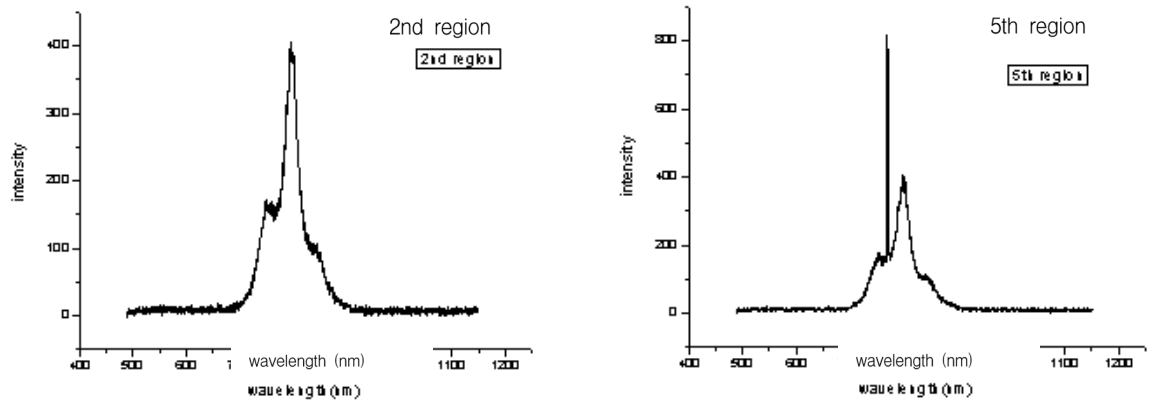

그림 3. 왼쪽은 펌프레이저 에너지가 2.95W인 경우에 공진기에서 나온 빔의 스펙트럼을 얻은 것이고, 오른쪽은 펌프레이저 에너지가 3.21W인 경우에 공진기에서 나온 빔의 스펙트럼을 나타낸 것이다.

토초 모드락 레이저의 상태가 변한 이유를 알아보기 위해 변화의 일어난 부근(펌프 레이저 에너지가 약 3.08W인 지점)과 그 앞 뒤로 펨토초 모드락 레이저의 스펙트럼을 얻어 보았다. 펌프레이저 에너지 약 3.08W인 지점에서의 스펙트럼에서 CW(Continuous Wave)성분이 나타나기 시작해서 그림3.에서 볼 수 있듯이 그 이후 펌프에너지 값에서는 스펙트럼에서 항상 CW성분을 관찰할 수 있었다. 그러므로 펌프레이저 에너지와 fceo 사이의 선형성이 없어지는 이유로써 불안정한 mode-locking lasing 상태를 들 수가 있다.

본 연구는 광주과학기술원 고등광기술연구소의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

[1] David J. Jones, Scott A. Diddams, Jinendra K. Ranka, Andrew Stentz, Robert S. Windeler, John L. Hall, and Steven T. Cundiff, "Carrier-Envelope Phase Control of Femtosecond Mode-Locked Lasers and Direct Optical Frequency Synthesis," Science 288, 635-639 (2000).

[2] Y. S. Lee, J. Sung, C. Nam, T. Yu, and K. -H. Hong, "Novel method for carrier-envelope-phase stabilization of femtosecond laser pulses," Opt. Express 13, 2969-2976 (2005)

[3] K. -H. Hong, T. Yu, Y. S. Lee, C. Nam and Robert S. WINDELER " Measurement of the Shot-to-Shot Carrier-Envelope Phase Slip of Femtosecond Laser Pulses" J. K. Phys. Soc. Vol.42, pp. 101~105