

수동모드잠김된 이터븀 광섬유 레이저 펄스 생성

Passively Mode-locked Ytterbium Fiber Laser Pulse Generation

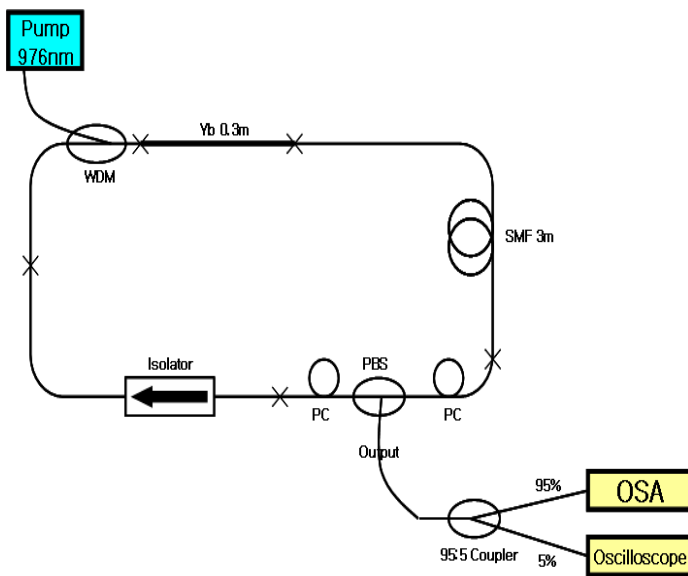
송우섭, 송호성, 김동욱, 김덕영

광주과학기술원 정보기전공학부

songws@gist.ac.kr

수동모드잠금 (Passively Mode-locking) 방법을 사용하는 초단 펄스 레이저에서 비선형 커 (Kerr) 효과와 분산 (Dispersion)은 펄스생성 과정에 있어 매우 중요한 역할을 한다⁽¹⁾. 대부분의 레이저 공진기는 정상분산 (Normal Dispersion)과 비정상분산 (Anomalous Dispersion)을 갖는 부분을 포함하고 있으며 공진기 내의 평균분산의 부호 및 크기에 따라 펄스의 생성 메커니즘뿐만 아니라 생성되는 펄스의 폭, 칩 (Chirp), 스펙트럼 모양 등과 같은 특성에 있어서 큰 차이를 보인다⁽²⁾. 본 논문에서는 정상분산 광섬유만으로 이루어진 이터븀 (Ytterbium, Yb) 광섬유 레이저를 구성하여 모드잠김된 펄스를 생성하였다.

그림 1에 보여지는 바와 같이 1200 dB/m (at 976 nm)의 흡수율을 갖는 이터븀 광섬유 (Yb1200-4/125, Liekki) 0.3m, 파장다중결합기 (WDM Coupler), 광격리기 (Isolator), 편광광선가르개 (PBS), 단일모드광섬유 (SMF)를 이용하여 링 구조의 이터븀 광섬유 레이저를 구성하였으며 전체 공진기 길이는 약 4.8 m이다⁽³⁾. 공진기를 구성하는 모든 소자의 입출력 포트는 단일모드 광섬유로 피그테일 (pigtail) 되어 있어 용융접합기에 의해 쉽게 접합가능하며 접합손실은 0.02 dB 이하이다. 또한, 976 nm 펄프 레이저 다이오드의 최대 펄핑 파워는 450 mW이다.



단방향 동작을 위해 광격리기를 사용하였으며 스위칭 동작을 위한 포화흡수체 (Saturable Absorber)와 출력포트로서 편광광선가르개를 사용하였다. 구성된 레이저는 비선형 편광 회전 메커니즘에 의해 펄스가 생성된다. 편광광선가르개를 통과한 빛은 편광조절기 (PC)에 의해 타원편광이 되며 타원편광된 빛은 복굴절을 갖는 광섬유를 통과하면서 빛의 세기에 따라 서로 다른 편광회전각을 갖게 된다. 서로 다른 회전각을 갖게 된 빛은 편광광선가르개에 의해 빛의 세기가 작은 부분은 필터링 되고 큰 부분은 잘 통과하도록 편광조절기에 의해 편광상태가 조정되며 이와 같은 과정을 반복함으로써 초단 펄스가 생성된다⁽²⁾. 모드 잠김된 펄스가 생성되도록 편광조절기가 조정된 다음부터는

그림 1 이터븀 광섬유 펄스 레이저 구성도

self-starting 동작이 가능하며 온도 및 진동 등의 외부환경 변화에 대해 안정적인 동작을 한다.

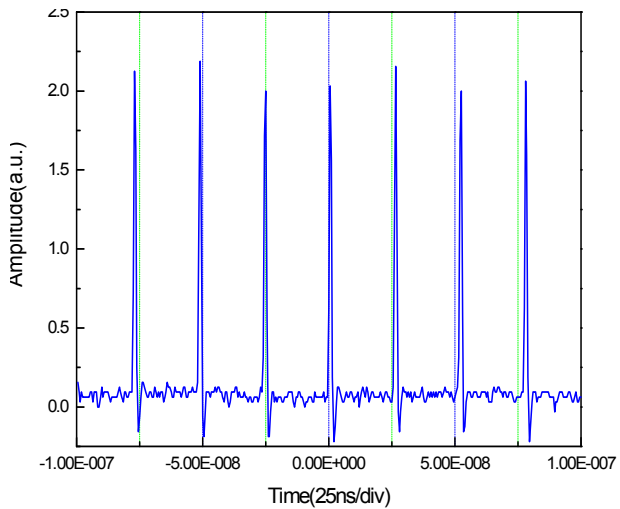


그림 2 주입된 펌핑 파워가 170mW 일 때, 생성된 펄스 열

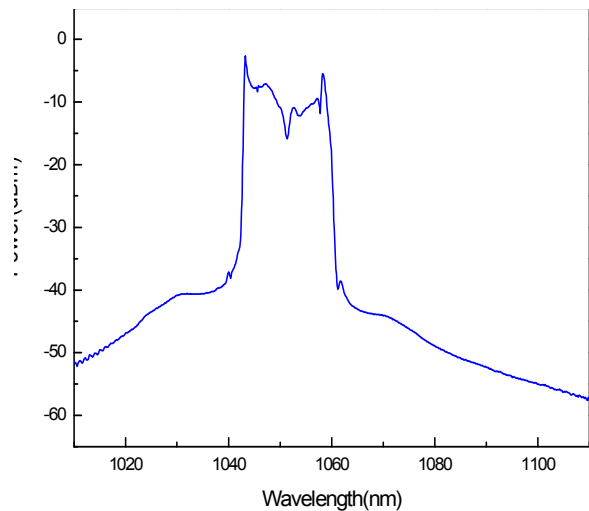


그림 3 주입된 펌핑 파워가 170 mW 일 때, 생성된 펄스의 광 스펙트럼

모드 잠금을 위한 문턱 (Threshold) 펌핑 파워는 120 mW이며 그림 2와 3은 주입된 펌핑 파워가 170 mW 일때 생성된 낮은 속도의 광 검출기와 오실로스코프에 의해 측정된 펄스 열과 광스펙트럼분석기 (OSA)에 의해 측정된 광 스펙트럼이다. 광 스펙트럼은 양끝 부분에서 가파른 (Steep) 모양을 가지며 중심부분에서 dip을 갖는다. 가파른 스펙트럼 모양은 평균분산이 정상분산 값을 갖는 레이저에서 일반적으로 나타나는 현상이다^(3,4).

본 연구에서는 비정상분산 소자를 사용하지 않고 광섬유로만 이루어진 레이저를 구성하였으며 주입된 펌핑 파워가 170 mW 일 때, 중심파장은 1050 nm, 반복율은 약 40 MHz, 평균 파워는 45 mW, 에너지는 약 1.1 nJ인 펄스를 생성하였다. 또한, 생성된 펄스의 폭은 간섭형 자체상관방법 (Interferometric autocorrelator)에 의해 측정되었으며 가우시안 (Gaussian) 모양의 펄스를 가정한다면 약 5ps이다. 자체상관 측정결과로부터 상당한 크기의 첩을 갖고 있음을 확인하였으며 펄스 압축 (Compression) 과정을 통해 수백 펨토초의 펄스 폭을 갖는 펄스를 생성할 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgement

이 논문은 2006년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R01-2006-000-11197-0).

참고문헌

1. H. A. Haus, J. G. Fujimoto, E. P. Ippen, "Analytic theory of additive pulse and Kerr lens mode locking," *IEEE J. Quantum Electron.* **28**, 2086-2096 (1992)
2. H. A. Haus, E. P. Ippen, and K. Tamura, "Additive-pulse modelocking in fiber lasers," *IEEE J. Quantum Electron.* **30**, 200-208 (1994)
3. A. Chong, J. Buckley, W. Renninger, F. Wise, "All-normal-dispersion femtosecond fiber laser," *Opt. Express* **14**, 10095-10100 (2006)
4. F. Ö. Ilday, J. R. Buckley, W. G. Clark, and F. W. Wise, "Self-similar evolution of parabolic pulses in a laser," *Phys. Rev. Lett.* **92**, 213902-1-213902-4 (2004)