

1 kHz 펨토초 고출력 티타늄 사파이어 레이저

1 kHz femtosecond high-power Ti:sapphire laser

성재희*, 홍경한, 남창희
 한국과학기술원 물리학과 결맞는 X선 연구단
 sungjh@kaist.ac.kr*

CPA(chirped pulse amplification) 개념을 이용한 티타늄 사파이어 레이저는 고출력 펨토초 펄스 생성에 유리한 장점을 가지고 있다. 현재 티타늄 사파이어 레이저를 이용한 고출력, 극초단 펄스 레이저는 수 kHz의 반복률에서 TW 급의 출력을 가지는 시스템이 개발되어 사용중이다⁽¹⁻⁴⁾. 이러한 레이저는 고차 조화파 발생, 연 X선 발생, 시간 분해 분광학 등에 널리 이용되고 있다.

본 연구에서는 티타늄 사파이어 레이저를 이용하여 1 kHz의 고반복률에 높은 첨두 출력을 가지는 펨토초 레이저 시스템을 CPA 방법을 이용하여 구성하였다. 1 kHz 펨토초 고출력 레이저의 실험 장치는 그림 1과 같다.

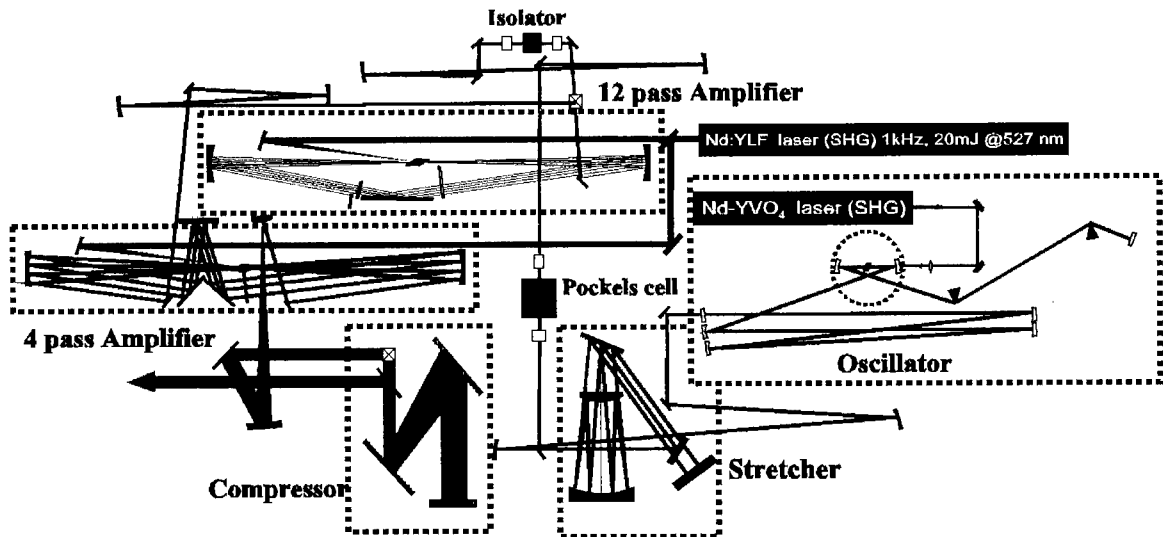


그림 1 1 kHz 펨토초 고출력 티타늄 사파이어 레이저의 구성

첨두 공진기로는 펄스당 에너지가 높은 긴 공진기형 티타늄 사파이어 레이저를 사용하여 펄스당 에너지를 높였고, 120 nm 이상의 스펙트럼 폭을 가지는 펄스를 만들었다. 펄스를 증폭하기 전 펄스 폭을 충분히 늘리기 위하여 Offner-triplet 형태의 펄스 확대기를 이용해 400 ps 이상으로 펄스를 시간적으로 확대하였고, 포켈스 셀을 이용하여 26 MHz의 펄스열을 1 kHz의 반복률로 선택하였다. 선택된 펄스를 증폭시키기 위하여 ring 형태의 12-pass 다중 통과 증폭기를 예비 증폭기로 사용하여 8 W의 Nd:YLF 펌핑 레이저로 펌핑하여 1 mJ 이상의 펄스 에너지를 얻었다. kHz 시스템에서 심각한 문제가 되는 열 렌즈 효과를 줄이기 위하여, TE cooler를 이용하여 티타늄 사파이어 결정을 냉각시켰고, 일정한 크기의

구멍이 뚫린 mask를 사용하여 증폭기 내에서의 빔의 크기를 조절할 수 있도록 하였다. 예비 증폭기에서 주로 나타나는 gain narrowing 효과를 보상하기 위하여 증폭기 내에 2 μm 의 두께를 가지는 pellicle을 삽입하여 에탈론 효과로 레이저 스펙트럼을 변조시켜 50 nm의 스펙트럼 폭을 80 nm 이상으로 늘렸다⁽⁵⁾. 주 증폭기는 예비 증폭기와 같은 형태의 4-pass 다중 통과 증폭기로 12 W의 Nd:YLF 펌핑 레이저로 3 mJ의 펄스 에너지를 얻었다. 최종적으로, 에돌이발 쌍을 이용한 펄스 압축기로 펄스를 압축하여 2.25 mJ의 에너지에 23 fs의 시간폭을 가지는 펄스를 만들었으며 이 때 얻어지는 첨두 출력은 약 0.1 TW이다.

열 렌즈 효과를 보다 효과적으로 보상하면 더 높은 에너지의 펄스를 얻을 수 있을 것으로 보이며, hollow-core fiber를 이용하여 자체위상변조(SPM)를 시킨 후 다시 펄스폭을 압축하면 10 fs 미만의 펄스 생성이 가능할 것으로 기대되어 이에 대한 연구를 수행 중이다.

참고문헌

1. S. Backus, J. Peatross, C. P. Huang, M. M. Murnane, and H. C. Kapteyn, "Ti:sapphire amplifier producing millijoule-level, 21-fs pulses at 1 kHz," *Opt. Lett.*, **20**, 2000-2002 (1995)
2. Sterling Backus, Charles G. Durfee III, Gerard Mourou, Henry C. Kapteyn, and Margaret M. Murnane, "0.2-TW laser system at 1 kHz," *Opt. Lett.*, **22**, 1256-1258 (1997)
3. S. Sartania, Z. Cheng, M. Lenzner, G. Tempea, Ch. Spielmann, F. Krausz, and K. Ferencz, "Generation of 0.1-TW 5-fs optical pulses at a 1-kHz repetition rate," *Opt. Lett.*, **22**, 1562-1564 (1997)
4. Y. Nabekawa, Y. Kuramoto, T. Togashi, T. Sekikawa, and S. Watanabe, "Generation of 0.66-TW pulses at 1 kHz by a Ti:sapphire laser," *Opt. Lett.*, **23**, 1384-1386 (1998)
5. Charles G. Durfee III, Sterling Backus, Margaret M. Murnane, Member, IEEE, and Henry C. Kapteyn, "Design and Implementation of a TW-Class High-Average Power Laser System," *IEEE J. Selected Topics In Quantum Electron.*, **4**, 395-405 (1998)

E
D