

Multi-kHz fs Cr:forsterite OPCPA 시스템 제작연구 Development of multi-kHz fs Cr:forsterite OPCPA

윤창준, 조원배, 이용인, 이상민
아주대학교 분자과학기술학과
e-mail: rotermun@ajou.ac.kr

다양한 분야에서 극초단 펄스의 응용은 점점 늘어나고 있어, 그에 따른 다양한 파장과 반복률을 지닌 고출력 극초단 펄스의 연구는 국내외적으로 활발히 진행되고 있다. 현재 널리 사용되는 펨토초 레이저 매질로는 Ti:sapphire가 있고, 이와 더불어 Cr:forsterite ($\text{Cr}^{4+}:\text{Mg}_2\text{SiO}_4$)매질은 근적외선영역 (1.13-1.36 μm)에서 파장가변 펨토초 펄스 방출을 가능하게 하는 매질이다. 현재까지 이 매질을 기반으로 개발된 증폭기의 최대 반복률은 kHz 범위이며, 이 때 regenerative chirped pulse 증폭방법을 이용해 얻은 펄스 에너지 값은 135 fs의 펄스폭에서 200 μJ 이다.¹⁾ 본 연구에서는 처음으로 Cr:forsterite oscillator에서 방출된 펄스를 OPCPA 방법을 이용하여 근적외선, kHz 영역에서 반복률변환 가능한 고출력 극초단 펄스 방출을 시도한다.

고출력의 레이저 시대의 도래는 1985년 G. Mourou²⁾의 CPA(Chirped Pulse Amplification) 방식에 의해 시작되었다. 이런 CPA방식에 비선형 매질을 이용한 momentum conservation ($k_1 + k_2 = k_3$)과 energy conservation ($w_1 + w_2 = w_3$)조건을 만족시키는 OPA(Optical Parametric Amplification)방식이 접목되어 OPCPA(Optical Parametric Chirped Pulse Amplification)가 등장하게 되었다. 이 증폭법은 Dubietis et al.³⁾에 의해 처음 시도 되었으며, 그 원리는 Oscillator에서 방출된 seed 펄스를 광늘림기를 이용하여 수백 피코초에서 수 나노초의 펄스로 늘린 후, 이렇게 늘어난 seed 펄스에 나노초 또는 피코초의 pump 펄스 에너지를 광매개현상을 통하여 전이시키는 것이다. 그 후 증폭단을 통해 나온 펄스를 광압축기를 통하여 극초단 펄스로 재압축시키는 방법이다. (그림1)

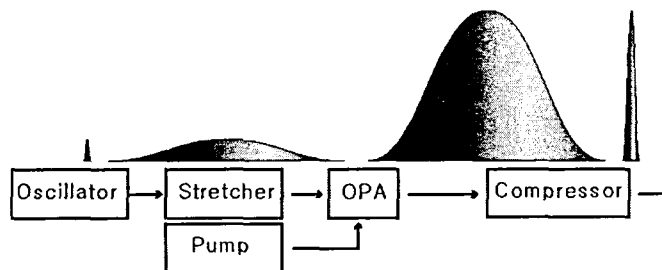


그림 1. OPCPA의 기본원리

본 연구에서는 자체 개발한 Cr:forsterite femtosecond Oscillator (1235nm의 중심파장, 80fs의 펄스폭, 150mW 평균출력, 83MHz)에서 나온 펄스를 홀로그램 회절격자(holographic grating, $G = 1400$ [1/mm])를 사용하여 ~1.2ns의 펄스폭을 갖는 펄스로 늘였다. 펄스늘림기(stretcher)는 O. E. Martinez⁴⁾가 제시한 telescope method를 이용하여 구성하였다. 펄스늘림기를 이용하여 여러 가지 기하학적 조건 및 분산정도에 따라 펄스의 길이를 1.4ns 범위까지 확대가 가능함을 확인하였고, 펄스늘림기를 빠져나오는 늘어난

펄스의 출력과 빔의 모양을 고려하여 1.2ns의 펄스폭으로 최적화 하였다. 그 후 이 펄스는 증폭단에서 seed 펄스로 사용되었다. 증폭단의 펌프 광원으로 사용된 레이저는 다이오드 펌핑된 second harmonic Nd:YVO₄ 레이저로 532nm 영역에서 10ns의 펄스폭을 지닌다. 증폭단에서 pump 펄스와 seed 펄스를 공간적 시간적으로 동기화시키는 것은 증폭효율을 높이는 주요변수이며, 공간적 동기화를 위해 두 펄스는 한 점으로 정확하게 평행하게 입사되게 하였다. 펄스간에 시간적 동기화를 이루기 위하여, 전기장치를 이용하여 두 가지 방법으로 실험하였다. 첫 번째로 83MHz의 seed 펄스의 신호를 자체 제작한 주파수 나눗기(frequency divider)를 이용하여 kHz 영역의 동기신호로 펌프 광원을 트리거 하였으며, 두 번째 방법은 pockels cell을 이용한 pulse picker를 사용하여, seed 펄스를 특정 kHz의 반복률로 뽑아내어 이 신호와 동기화된 신호로 pump 레이저를 작동시켰다. 실험 구성은 그림 2 와 같다.

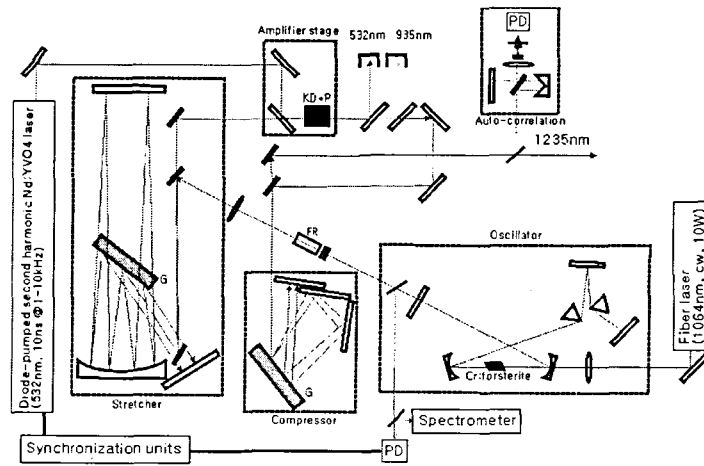


그림 2. Cr:forsterite OPCPA 구성도

증폭에 사용된 비선형 단결정은 위상정합각도가 37°로 연마된 KD*P이다. 이 KD*P는 0.2 μm~1.8 μm에서 높은 투과율을 지니며, 특히 본연구의 증폭과장영역에서 넓은 이득 대역폭(gain bandwidth)을 갖는 특성을 제시한다. 이 증폭매질을 이용하여 증폭단을 구성하고 이론적으로 계산한 증폭된 펄스는 ~10⁵ 이상의 이득값(Gain)을 얻을 수 있을 것으로 기대되며, 현재 증폭단을 제작중이다. 증폭된 펄스는 펄스 늘임기와 유사한 구조를 갖고, 음분산을 유도하는 펄스압축기를 통하여 다시 재압축되며, 압축된 펄스는 sub-200fs의 펄스폭을 지닐 것으로 기대된다.

참고문헌

- 1) V. Shcheslavskiy, N. Zhavoronkov, V. Petrov, F. Noack, and M. Bouvier, *IEEE J. Quntum Elec.* 35 (1999) 1123.
- 2) D. Strickland and G. Mourou, *Opt. Commun.* 55 (1985)219 and 447.
- 3) A. Dubietis, G. Jonusauskas, and A. Piskaskas, *Opt. Commun.* 88 (1992) 437.
- 4) O. E. Martinez, *IEEE J. Quantum Elec.* 23 (1987) 1385.

T
P