

주기적으로 poling된 KTP 단결정을 이용한 1.57 μm 영역에서의 광 파라메트릭 chirped pulse 증폭

이상민(F. Rotermund), V. Petrov*, V. Pasiskevicius**
 아주대학교 분자과학기술학과, *Max-Born-Institute, Berlin, Germany,
 **Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden
 e-mail: rotermun@ajou.ac.kr

다양한 응용분야에서 극초단 펄스의 쓰임은 점점 증가하고 있는 추세이고, 따라서 고에너지의 극초단 펄스를 방출할 수 있는 소형화된 source 개발연구는 현재 활발히 진행되고 있다. 극초단 펄스를 증폭, 보다 높은 에너지를 손쉽게 방출하기 위한 방법의 하나인 광 파라메트릭 chirped pulse amplification (OPCPA)은 처음으로 Dubietis *et al.*⁽¹⁾에 의해 시도되었으며, 기본원리는 피코 혹은 나노초 펄스의 고 에너지를 효율적으로 시간상 stretching된 극초단 펄스로 전이하는 것이다.

일반적으로 많이 사용되는 regenerative 혹은 multi-pass 증폭에 비해 OPCPA는 여러 장점들을 제시한다. 즉, Pockel's cell과 같은 electro-optical modulators나 multi-pass amplification을 사용하지 않고 손쉽게 큰 증폭이 가능하며, 시스템 소형화를 이룰 수 있다. 또한 다른 증폭방법들에 비해 보다 넓은 gain bandwidth를 제시하며, 증폭 시에 발생하는 spectral narrowing이나 비선형적 phase distortion등의 현상을 방지 할 수 있으며, 증폭을 가능한 비선형 단결정 선택의 다양함으로 인해 보다 넓은 영역에서의 증폭 또한 가능하다.

현재 활발히 진행중인 OPCPA에 관한 연구는 크게 두 분야로 나누어 볼 수 있다. 저반복률 혹은 single shot 영역에서 BBO, LBO, KTP와 같은 다양한 비선형 단결정들을 이용해 페타와트(PW) 이상의 펄스방출이 가능한 고에너지 시스템 개발에 중점을 두며⁽²⁾, 그 외에도 kHz 영역의 반복률에서 수십 μJ 이상의 에너지방출을 가능케 하는 시스템 개발에 관한 연구 또한 활발하다.

파라메트릭 증폭 시 복굴절단결정 외에 periodically poling된 ferroelectric 단결정을 매질로 사용하면 보다 높은 효율을 올릴 수 있으므로, 이러한 단결정의 사용여부에 대한 연구도 활발히 진행중이다. 주기적 poling된 LiNbO₃ (PPLN)을 이용한 OPCPA의 예를 보면 Alexandrite⁽³⁾ 나 Yb-fibre⁽⁴⁾ 증폭기를 pump source를 사용했으며, 이때 OPCPA에 의해 증폭된 펄의 길이는 1.56 μm 영역에서 각각 680fs와 1.6ps 이다.

이 발표를 통해 주기적 poling된 KTP (PPKTP)를 이용해 처음으로 제작한 OPCPA 시스템을 소개하고자 한다. PPKTP는 PPLN에 비해 높은 damage threshold를 지니며, 파라메트릭 증폭시 불필요한 photorefractive effect가 PPLN에 비해 작으며, 또한 poling시 필요한 전기장, 즉 전압이 PPLN의 경우보다 현저히 낮아 보다 두꺼운 sample 제작이 가능하다는 장점을 지니고 있다. 이 실험에서 1064nm 상에서 작동하는 1-kHz pump source를 이용해 1.57 μm 영역의 seed 펄스를 single-pass를 통해 3.3×10^5 배 이상으로 증폭시킬 수 있었다. 사용한 PPKTP의 크기는 5 \times 1 \times 12mm (w \times t \times l, z-cut)이고 domain conversion 주기는 $\Lambda = 35.6\mu\text{m}$ 이다.

그림 1 에서 볼 수 있듯이, seed source는 55-fs Er³⁺-fibre laser oscillator이고 grating stretcher를

사용하여 펄스의 길이를 250ps로 늘린후, 1-kHz 나노초 pump source (1-ns regenerative amplifier seeded by an actively Q-switched microlaser)와 synchronizing시켜 PPKTP에 투입시켰다. 이때 seed 펄스의 평균출력은 3.4mW로서 60pJ의 펄스 에너지에 해당되며, 펌프 펄스의 peak on-axis intensity는 40CMW/cm², 에너지는 850μJ 이다.

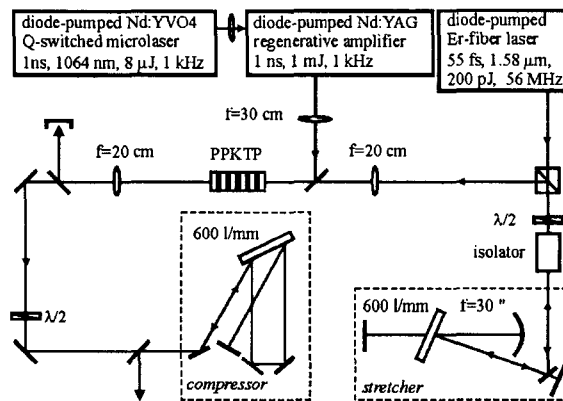


그림 1: PPKTP를 이용한 OPCPA의 실험 set-up

증폭된 signal 펄스의 에너지는 1.58μm 파장영역에서 20μJ에 이르며, 이는 55dB의 증폭을 의미한다. 이 펄스의 증폭과 동시에 중적외선 3.3μm 영역에서 10μJ 이상의 idler 펄스도 새롭게 방출된다는 점은 파라메트릭 주파수변환의 다른 장점을 말해준다.

Grating compressor(65% transmission)를 통해 다시 줄인 증폭된 signal 펄스의 길이를 측정하기 위해 autocorrelator를 사용, 320fs의 펄스길이를 얻어내었다. 이것은 지금까지 CPOPA 테크닉을 이용해 방출채널 펄스 중에서 가장 짧은 펄스를 의미한다.

현재 100 μJ 이상의 펄스에너지와 더 짧은 펄스를 방출해 내기 위한 방법으로 두 개의 PPKTP를 기반으로 double-stage OPCPA를 연구, 개발중이다.

- 1 A. Dubietis, G. Jonusauskas, and A. Piskaskas, "Powerful femtosecond pulse generation by chirped and stretched pulse parametric amplification in BBO crystal", Opt. Commun. 88, 437-440 (1992)
- 2 P. Matousek, B. Rus, and I. N. Ross, "Design of multi-petawatt optical parametric chirped pulse amplifier for iodine laser Asterix IV", IEEE J. Quantum Electron. 36, 158-163 (2000)
- 3 A. Galvanauskas, A. Hariharan, D. Harter, M. A. Abore, and M. M. Fejer, "High-energy femtosecond pulse amplification in a quasi-phase-matched parametric amplifier", Opt. Lett. 23, 210-212 (1998)
- 4 A. Galvanauskas, A. Hariharan, F. Raksi, K. K. Wong, G. Imeshev and M. M. Fejer, "Generation of diffraction-limited femtosecond beams using spatially-multimode nanosecond pump sources in parametric chirped pulse amplification system", CLEO 2000, OSA Tech. Dig. OSA 2000, Paper CThB4, 394-395 (2000)