

고출력 티타늄 사파이어 레이저의 증폭된 자발방출 펄스의 시간폭 제어

이성구, 유태준, 성재희, 최일우, 고도경, 이종민

광주과학기술원

펨토 아토 과학기술센터 & 고등광기술연구소

lsk@gist.ac.kr

고출력 티타늄 사파이어 레이저는 x-ray 발생, 전자 및 양성자 가속 등의 다양한 분야에 활발하게 이용되고 있다. 그리고 응용에 사용되는 레이저 광은 각각에 응용 조건에 맞도록 펄스 파형의 제어가 필요하다. X-ray 레이저의 경우 8 ps main pulse와 수 ns 선행하는 pre-pulse를 요구한다.⁽¹⁾ 반면에 양성자 및 전자 가속을 위해서는 pre-pulse의 크기가 큰 경우 타겟에서 pre-plasma 또는 타겟을 파괴하므로 pre-pulse를 최소화 해야만 한다. Pre-pulse는 크게 main beam의 일부가 완전히 차단되지 않아 발생하는 경우⁽¹⁾와 자발방출된 펄스가 증폭(ASE: Amplified Spontaneous Emission)되는 두 가지의 경우로 분류될 수 있다. 특히 자발방출 펄스는 밀도반전을 기반으로 하는 티타늄 사파이어 레이저에서는 불가피하게 존재한다. 현재 Pre-pulse와 main pulse의 contrast ratio를 향상 시키는 연구는 세계적으로 활발한 연구가 진행되고 있다.⁽²⁻⁶⁾ 그러나 대부분의 연구는 pre-pulse의 level에 집중되고 있으며, pre-pulse인 증폭된 자발방출 펄스의 시간폭에 관한 연구는 거의 전무하다. 현재 자발방출 펄스의 시간폭이 양성자 가속에 크게 영향을 주고 있음이 보고되고 있다.⁽⁷⁾ 증폭된 자발방출 펄스(ASE)는 main pulse와 같은 공간, 같은 시간에 존재하므로 두 펄스의 구분이 거의 되지 않으며, 따라서 제거하는 것이 용이하지 않다. 가장 흔하게 쓰는 방법은 Pockels cell과 같은 electro-optic 스위치의 사용이다. 그러나 ultra fast Pockel cell(UPC)의 경우 속도가 ~500 ps 정도로 자발방출 펄스의 완벽한 제거는 어렵다. 특히 chirped pulse amplification laser의 경우 증폭된 자발방출 펄스가 stretched main pulse 내부에 존재하여 compression 이후에 pre-pulse로 나타나게 되는 특성을 가지고 있다. 아래의 fig. 1은 극초단 광양자빔 100 TW 레이저 시스템에서 측정된 780 nm 자발방출 펄스의 파형을 보여주고 있으며, main pulse 내부에 증폭된 자발방출 펄스가 존재함을 보여주고 있다.

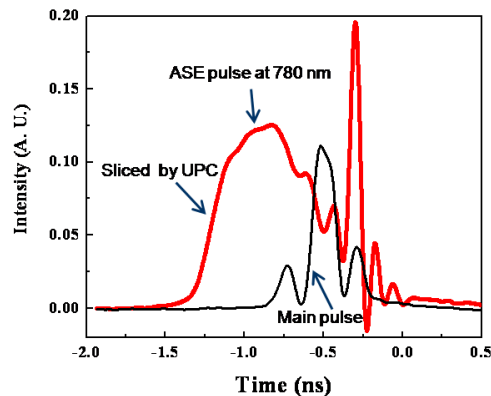


Fig. 1: main pulse and 780 nm ASE pulse

780 nm 증폭된 자발방출 펄스는 stretcher에서 780 nm 광선을 차단한 후 증폭하고, 780 nm band-pass 필터를 통과 시켜 측정하는 방법을 사용하였다.⁽⁸⁾ Main pulse에서 나타나는 두 개의 valley는 780 nm 광선의 차단으로 생겨난 것으로 double-pass stretcher 구조에서 발생된 것이다. 또한 강한 peak는 780 nm band-pass의 FWHM이 넓어서 나타난 결과이다. 이러한 compression 전의 자발방출 펄스와 main pulse의 시간적인 관계는 compression grating에 의한 dispersion에 의하여 compression 전과 다르게 된다. 그러나 증폭된 자발방출 펄스의 파장을 780 nm라고 가정하는 경우, main pulse의 780 nm 광선과 증폭된 자발방출 펄스는 compression grating에 의하여 같은 dispersion을 겪게 되므로, compression 이후에도 time interval을 compression 전과 다르없이 유지하게 된다. 아래의 fig. 2는 main pulse와 자발방출 펄스의 compression 전후의 time interval을 보여 주고 있다. 즉 $\Delta t \approx \Delta t'$ 의 관계가 성립한다. 이러한 사실은 증폭된 자발방출 펄스의 중심파장 또는 main pulse의 중심파장이 변하는 경우 Δt 의 값이 달라질 수 있음을 의미한다. 본 논문에서는 main pulse의 중심파장이 짧아질수록 $\Delta t'$ 의 값이 작아짐을 보이며, 이를 통하여 증폭된 자발방출 펄스의 시간폭을 제어할 수 있음을 보인다.

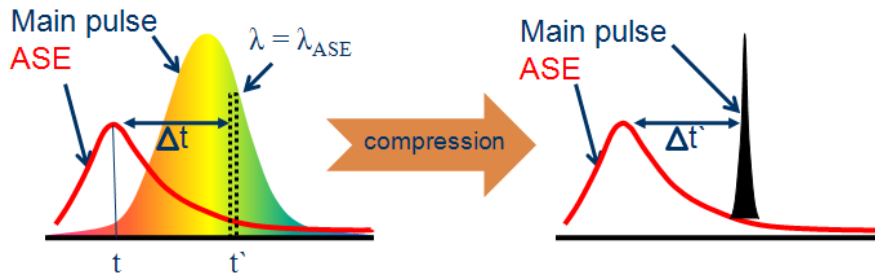


Fig. 1: Interval between ASE prepulse and main pulse before and after compression

- 1 H. T. Kim, C. M. Kim, I. W. Choi, N. Hafz, H. C. Kang, J. H. Sung, T. J. Yu, S. K. Lee, K. -H. Hong, T. M. Jeong, Y. -C. Noh, D. -K. Ko, J. Tümmeler, P. V. Nickles, W. Sandner, K. A. Janulewicz, and J. Lee, *Characteristics of a Ni-like silver x-ray laser pumped by a single profiled laser pulse*, J. Opt. Soc. Am, B **25**, B76 (2008)
2. J. Wojtkiewicz and C. G. Durfee, *High-energy, high-contrast, double -confocal multipass amplifier*, Opt. Exp. **12**, 1383 (2004).
3. A. Jullien, O. Albert, F. Burgy, G. Hamoniaux, J. -P. Rousseau, J.-P. Chambarel, F. Augé-Rochereau, G. Chériaux, J. Etchepare, N. Minkovski, and S. M. Saltiel, *10^{10} temporal contrast for femtosecond ultraintense lasers by cross-polarized wave generation*, Opt. Lett. **30**, 920 (2005).
4. M. P. Kalashnikov, E. Risse, H. Schönngel, A. Husakou, J. Herrmann, and W. Sandner, *Characterization of a nonlinear filter for the front-end of a high contrast double-CPA Ti:sapphire laser*, Opt. Exp. **12**, 5088 (2004).
5. K. -H. Hong, B. Hou, J. A. Nees, E. Power, G. A. Mourou, *Generation and measurement of $>10^8$ intensity contrast ratio in a relativistic kHz chirped-pulse amplifier laser*, Appl. Phys. B **81**, 447 (2005).
6. H. Kiriya, M. Mori, Y. Nakai, T. Shimomura, M. Tanoue, A. Akutsu, S. Kondo, S. Kanazawa, H. Okada, T. Motomura, H. Daido, T. Kimura, and T. Tajima, *High-contrast, high-intensity, laser pulse generation using a nonlinear preamplifier in a Ti:sapphire laser system*, Opt. Lett. **33**, 645 (2008).
7. M. Kaluza, J. Schreiber, M. I. K. Santala, G. D. Tsakiris, K. Eidmann, J. Meyer-ter-Vehn, and K. J. Witte, *Influence of the laser prepulse on proton acceleration in thin-foil experiments*, Phys. Rev. Lett. **93**, 045003 (2004).
8. 이용우, 차용호, 이기태, 남성모, 차형기, 정영욱, *테라와트 티타늄 사파이어 레이저에서 발생하는 자발방출증폭 분석, 첨단레이저 및 응용*, 150 (2008).