

공진기 덤핑형 티타늄 사파이어 레이저 발진기의
 펨토초 테라와트 레이저 시스템에의 응용
 Application of a cavity-dumped Ti:sapphire laser oscillator
 to a fs, TW laser system

홍경한*, 차용호, 남창희
 한국과학기술원 물리학과/전자광학특화센터
 pman@bomun.kaist.ac.kr*

티타늄 사파이어 레이저는 이득 선폭이 200 nm 이상으로 매우 넓기 때문에 펨토초 펄스의 광원으로 가장 보편적으로 사용되고 있으며, 극초단 레이저 펄스를 효율적으로 증폭할 수 있는 chirped pulse amplification (CPA) 방법을 티타늄 사파이어 레이저에 응용함으로써 소규모 실험실에서도 테라와트급의 고출력 레이저를 개발할 수 있게 되었다⁽¹⁻⁴⁾. 이러한 고출력 레이저 개발에서는 주로 짧은 펄스폭과 큰 에너지를 얻는 데에 초점을 맞추어 왔으나, 증폭된 자발방출(amplified spontaneous emission : ASE)이나 선펄스(pre-pulse)와 같이 레이저 펄스의 질적인 면에 영향을 미치는 요소들에 대한 관심은 비교적 간과되어 왔다. 레이저 펄스의 질적인 측면을 향상시키기 위하여 본 연구에서는 공진기 덤핑된(cavity-dumped) 티타늄 사파이어 레이저 발진기를 이용하여 더 높은 침투출력을 갖는 펄스를 씨앗빔(seed beam)으로 제공함으로써 질적으로 보다 우수한 테라와트급 레이저 시스템을 개발하였다. 공진기 덤핑형 티타늄 사파이어 레이저는 1993년 처음 제작되었으며⁽⁵⁾, 1994년에는 공진기 덤핑형 티타늄 사파이어 레이저에서도 20 fs 이하의 극초단 펄스를 생성할 수 있음을 확인하였다⁽⁶⁾.

공진기 덤핑된 레이저 발진기의 실험장치는 그림 1과 같다. 기본구성은 전형적인 X자형 Kerr-lens

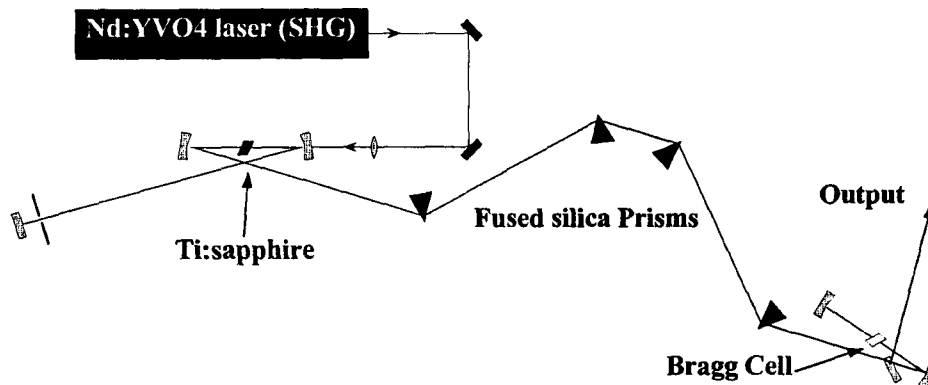


그림 1 공진기 덤핑된 티타늄 사파이어 레이저 발진기의 구성

모드록킹된 티타늄 사파이어 레이저이며 0.15 wt%로 도핑된 4.75 mm 길이의 티타늄 사파이어 결정을 이득매질로 사용하였고 Nd:YVO₄ (Spectra-Physics 사, Millennia)의 2차 조화파로 펨핑하였다. 공진기 덤핑을 설치하기 전에는 825 nm를 중심으로 70 nm의 선폭을 갖고 시간폭이 17 fs이며 반복률이 90 MHz인 펄스들을 생성하였다. 공진기 덤핑으로는 3 mm의 브래그 셀(Bragg cell)을 사용하였고 두 개의 곡면 거울을 첨가하여 공진기 끝에 설치하였으며 용융 실리카 프리즘 4개를 사용하여 군속도분산을 보상하였다. 브래그 셀을 9 ns 폭, 6 W의 RF 펄스로 구동하여 덤핑을 시켰을 때 이중경로 구조에서 50%의 덤핑 효율을 보였다. 펄스는 덤핑시키기 전에 75 MHz로 생성되는데, 덤핑을 작동한 후에는 167 kHz로 덤핑되고 펄스당 에너지는 25 nJ로서 덤핑을 설치하기 전에 비하여 20배 증가하였다. 주펄스와 선펄스와

의 감쇄비(extinction ratio)는 100:1 이상이였다. 그림 2는 공진기 덤핑된 티타늄 사파이어 펄스의 스펙트럼과 펄스폭을 나타내며 스펙트럼의 선폭은 76 nm, 간섭형 자체상관계로 측정된 펄스폭은 25 fs이었다.

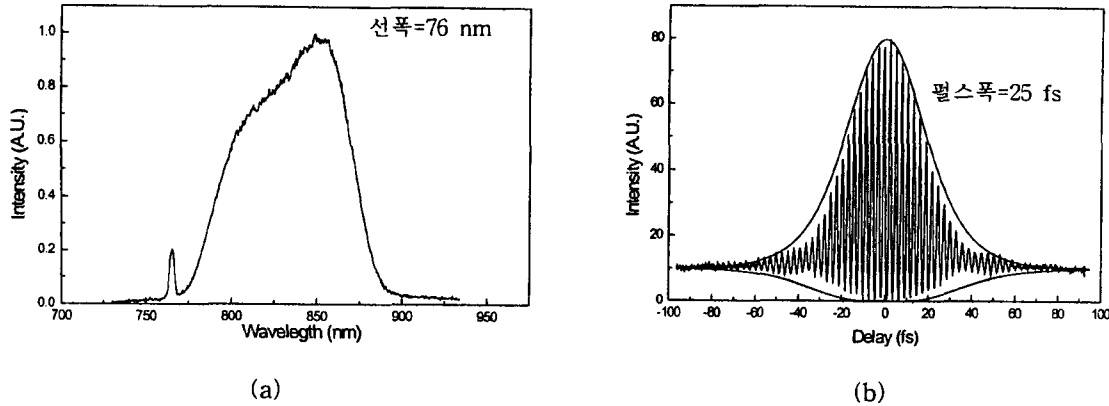


그림 2. 공진기 덤핑된 티타늄 사파이어 레이저의 스펙트럼(a)과 간섭형 자체 상관 신호(b).

공진기 덤핑된 티타늄 사파이어 레이저에서 발생한 펄스는 펄스확대기에서 200 ps으로 확대되고 포켈 셀(Pockels cell)을 이용하여 10 Hz로 선택되어 8중 경로의 첫 번째 증폭기를 지난다. 주펄스(main pulse)와 선펄스(pre-pulse) 간의 감쇄비는 포켈 셀을 지나기 전에 커진 상태이므로 포켈 셀을 지나면서는 $3 \times 10^4:1$ 이상이 되었다. 첫 번째 증폭기는 Q-스위칭된 Nd:YAG 레이저의 2차 조화파로 펌핑되며 40 mJ의 펌핑에서 펄스는 3 mJ로 증폭되었다. 펌핑 에너지의 증가 없이 씨앗 빔의 에너지를 증가시켜 증폭률을 낮춤으로써 gain narrowing을 낮추었으므로 덤핑 전에 52 nm의 폭을 갖던 스펙트럼이 63 nm로 증가되었고 ASE도 상당히 감소시켰을 것으로 예상된다. 첫 번째 증폭기를 지난 펄스는 빔 크기를 6 mm로 증가시킨 후, 역시 같은 Nd:YAG 레이저로 펌핑되는 5중 경로의 두 번째 증폭기로 보내어진다. 최종 펄스는 두 번째 증폭기에서 450 mJ 펌핑에 130 mJ로 증폭되며 50 nm의 선폭을 가진다. 이 펄스는 한 쌍의 에달이발로 이루어진 펄스 압축기를 이용하여 재압축되고 주파수-분해 광게이팅(FROG) 방법⁽⁷⁾으로 최종 펄스폭을 측정하였다.

참고문헌

1. C. P. J. Barty, C. L. Gordon III, and B. E. Lemoff, "Multiterawatt 30-fs Ti:sapphire laser system," *Opt. Lett.* **19**, 1442-1444 (1994).
2. J. Zhou, C.-P. Huang, M. M. Murnane, and H. C. Kapteyn, "Amplification of 26-fs, 2-TW, pulses near the gain-narrowing limit in Ti:sapphire," *Opt. Lett.* **20**, 64-66 (1995).
3. J. P. Chambaret, C. Le Blanc, G. Chériaux, P. Curley, G. Darpentigny, P. Rousseau, G. Hamoniaux, A. Antonetti, and F. Salin, "Generation of 25-TW, 32-fs pulses at 10 Hz," *Opt. Lett.* **21**, 1921-1923 (1996).
4. 차용호, 강영일, 홍경한, 남창희, "30-fs, 2 TW Ti:sapphire 레이저 시스템의 구성 및 동작 특성," *새 물리*, 제 37권 6호, 469-473 (1997).
5. M. Ramaswamy, M. Ulman, J. Paye, and J. G. Fujimoto, "Cavity-dumped femtosecond Kerr-lens mode-locked Ti:Al₂O₃ laser," *Opt. Lett.* **18**, 1822-1824 (1993).
6. M. S. Pshenichnikov, W. P. de Boeij, and D. A. Wiersma, "Generation of 13-fs, 5-MW pulses from a cavity-cumped Ti:sapphire laser," *Opt. Lett.* **19**, 572-574 (1994).
7. K. H. Hong, Y. H. Cha, C. H. Nam, and J. D. Park, "Temporal characterization of a femtosecond terawatt Ti:sapphire laser using frequency-resolved optical gating", *J. Kor. Phys. Soc.* **33**, 315 (1998).

