

차등 펌핑 펄스 압축 방식을 이용한

3.7 fs, 1.2 mJ의 레이저 펄스 발생

Generation of 3.7-fs, 1.2-mJ pulses with a differentially pumped hollow-fiber pulse compressor

박주윤, 이재환, 남창희

한국과학기술원 물리학과/ 결맞는 엑스선 연구단

juyuni@kaist.ac.kr

초펄스증폭(CPA) 방식을 사용한 티타늄 사파이어 레이저는 고출력 펨토초 펄스를 생성시킨다. 그러나 증폭 시에 나타나는 티타늄 사파이어 이득 매질에서의 이득 좁아짐 효과 때문에 20 fs 이하의 펄스를 얻는데 어려움이 있다. 이를 극복하기 위해 기체를 채운 hollow fiber에 레이저 펄스를 통과시키면 자체위상변조(SPM) 현상에 의해 continuum이 발생되게 된다. 기체의 압력을 전체적으로 일정하게 유지시키는 구조로 되어 있는 일반적인 hollow-fiber 압축기를 이용하여 0.4 mJ의 에너지를 가진 3.3 fs의 펄스를 만들어 내었다.⁽¹⁾ 그러나 이는 입력 펄스의 침두 세기가 커질수록 자기 집속(self-focusing) 효과와 이온화 경향이 강해져 투과율이 감소하고 펄스의 시간적인 위상이 심하게 왜곡되므로 입력 펄스의 에너지를 mJ 이상으로 증가시킬 수 없다. 이 한계를 극복하기 위해 hollow fiber 내부 기체의 입력 부분의 압력을 최소로 만들고 점차로 증가시켜 출력 부분에서 최대가 되도록 만든 차등 펌핑 hollow-fiber 압축기 기술이 제안되었다.⁽²⁾ 이 방식은 레이저 펄스에 의한 자기 집속 효과와 이온화 효과를 효율적으로 억제함으로써 입력 펄스의 에너지를 수 mJ 이상으로 증가시킬 수 있는 장점을 가지게 된다.

본 연구에서는 CPA 방법으로 구성된 1 kHz의 고출력 펨토초 레이저 시스템을 hollow fiber에 집속하여 continuum을 발생시키는 고출력 레이저 시스템을 제작하였다.⁽³⁾ 1 kHz 펨토초 고출력 레이저의 실험 장치는 그림 1과 같다. 본 실험에서는 29 fs, 5 mJ의 고출력 레이저 펄스를 300 μm 의 직경과 1 m의 길이를 가지는 hollow fiber에 집속시켰다. hollow fiber에서 스펙트럼을 최대로 넓히기 위해서 입사 레이저의 처프와 fiber에 채워지는 기체의 압력을 조절하였다. hollow fiber를 통과한 레이저 펄스는 집속 거울을 이용하여 빔의 크기를 일정하게 유지시켰으며, 레이저 펄스가 가지고 있는 처프는 처프거울 두 쌍을 이용하여 보상되었다. 보상된 레이저 펄스는 이차조화파 FROG(frequency resolved optical gating)을 이용하여 측정되었다.

입사 레이저 펄스의 처프와 네온의 압력이 자기 위상 변조와 이온화에 의해 발생하는 스펙트럼에 영향을 미친다. 따라서 처프 거울에 의한 보상 뿐 아니라 기체의 압력과 입사 펄스의 처프를 조절하여 변환 한계 펄스에 가깝도록 미세하게 분산을 보상할 수 있었다. 그 결과, 그림 2에서 보이는 것처럼 1.2 mJ, 3.7 fs의 펄스, 즉, 1.5 주기, 0.3 TW의 펄스가 네온 1.6 bar에서 양의 처프를 가지는 33 fs의 레이저 펄스를 이용함으로써 발생되었으며, 공간적으로 균일한 스펙트럼 분포를 가지고 있었다. 이 레이저 펄스는 절대 위상을 안정화 시킨 후에도 안정되게 생성될 수 있으므로, 절대 위상에 따라 발생하는 고차 조화파의 특성을 분석할 수 있을 뿐만 아니라 아토초 펄스를 발생시키기 위한 강력한 도구가 될 것이다.

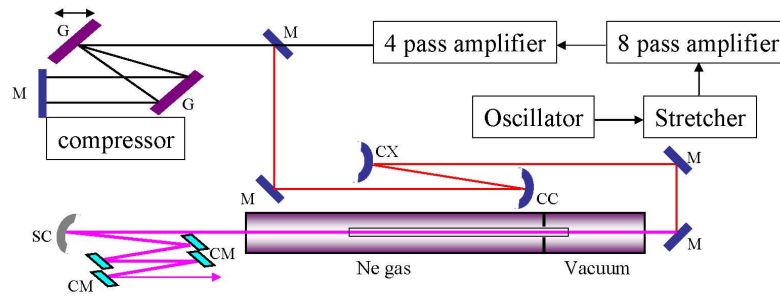


그림 1 Schematics of the kHz CPA Ti:Sapphire laser with a differentially pumped hollow-fiber pulse compressor.
(M: mirror, G: grating, CC:concave mirror, CX: convex mirror, SC: silver-coated concave mirror, CM: chirped mirror)

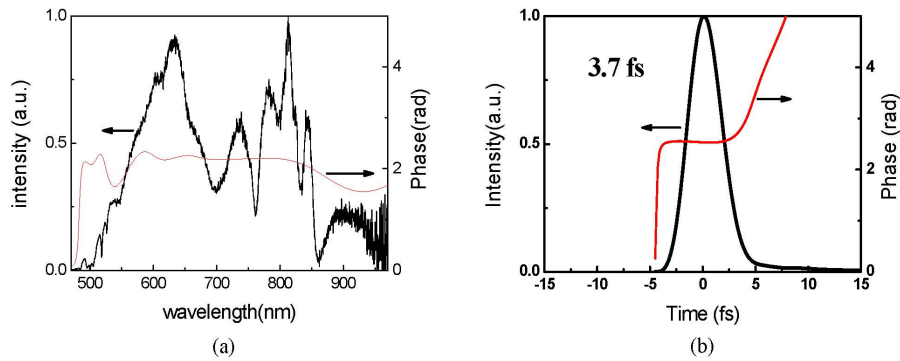


그림 2 (a) Spectral profile and phase and (b) temporal profile and phase of laser pulses obtained in the differentially pumped hollow-fiber pulse compressor with 1.6-bar Ne and positively chirped 33-fs laser pulse.

참고문헌

1. E. Goulielmakis, M. Schultze, M. Hofstetter, V. S. Yakovlev, J. Gagnon, M. Uiberacker, A. L. Aquila, E. M. Gullikson, D. T. Attwood, R. Kienberger, F. Krausz and U. Kleineberg, "Single-Cycle Nonlinear Optics," *Science* **320**, 1614 (2008).
2. S. Bohman, A. Suda, M. Kaku, M. Nurhuda, T. Kanai, S. Yamaguchi, and K. Midorikawa, "Generation of 5 fs, 0.5 TW pulses focusable to relativistic intensities at 1 kHz," *Opt. Express* **16**, 10684 (2008).
3. J. H. Sung, J. Y. Park, T. Imran, Y. S. Lee, C. H. Nam, "Generation of 0.2-TW 5.5-fs optical pulses at 1 kHz using a differentially pumped hollow-fiber chirped-mirror compressor," *Appl. Phys. B* **82**, 5 (2006).