

고대조비 레이저 펄스 발생을 위한 플라즈마 거울 시스템 및 진동하는 거울 모델을 이용한 고체 타겟으로부터의 고차조화파 발생

Plasma mirror system for high contrast laser pulse and high-harmonic generation from solid surface using an oscillating mirror model

김이중*, 최일우, Karol Adam Janulewicz, 이종민

Advanced Photonics Research Institute and Center for Femto-Atto Science and Technology, GIST,
Gwangju 500-712, Korea

*ijkim@gist.ac.kr

고강도 레이저장 물리는 극초단 고강도 레이저의 발달과 함께 핵심 연구 분야 중 하나가 되었다. 특히 극초단 고강도 레이저 시스템은 Chirped-Pulse Amplification(CPA) 기술로 인해 빠르게 발전되어 왔다. 하지만 이러한 극초단 고강도 CPA 레이저 시스템에서, 레이저 펄스는 레이저의 에너지가 증폭하면서 가우시안(Gaussian) 형태와는 거리가 멀어진다. 주 펄스(main pulse) 주위에는 증폭된 자발방출(amplified spontaneous emission)로부터 발생된 선행 펄스(prepulse)와 pedestal 그리고 불완전한 압축(compression)으로부터 발생하는 pedestal이 있다. 이 때 레이저 펄스의 세기 대조비(contrast ratio)는 주 펄스의 세기와 선행펄스/pedestal의 세기비에 의해 결정된다. 레이저 펄스의 세기가 낮을 때, 선행 펄스와 pedestal은 물질의 손상 한계(damage threshold)보다 낮아 플라즈마가 발생하지 않기 때문에 아무런 역할을 하지 않는다. 하지만 선행 펄스와 pedestal이 충분히 강할 경우, 예를 들어 그 세기가 $\sim 10^{12}$ W/cm² 정도에서 fused silica는 손상한계를 넘어서기 때문에 플라즈마가 발생하기 시작한다. 이처럼 플라즈마가 주 펄스가 도달하기 전에 발생한다면, 그것은 유체역학적(hydrodynamical)으로 팽창될 것이다. 이 때문에 주 펄스는 깨끗하고 가파른 밀도 프로파일(steep density profile)을 가진 플라즈마와 상호작용하지 않게 된다. 이같은 플라즈마-진공 경계면(plasma-vacuum interface)의 변형은 고체 표면으로부터의 고차조화파 발생이나 고에너지 양성자 발생 과정에 영향을 미치게 된다. 따라서 고강도 레이저 플라즈마 상호작용에서 선행 펄스와 pedestal의 세기를 낮게 유지하는 것은 매우 중요하다.

레이저 펄스의 세기 대조비를 높이는 데는 몇 가지 방법들이 존재한다. 그 중 플라즈마 거울^(1,2)은 펄스 압축 후에 레이저 펄스의 세기 대조비를 향상시키는데 사용되고, 입사하는 레이저 에너지의 제한 없이 높은 throughput을 제공한다. 또한 플라즈마 거울은 기존 레이저 시스템 자체의 어떠한 변화도 없이 적용된다. 우리는 광주과학기술원 고등광기술연구소에 설치된 100 TW Ti:sapphire 레이저 시스템에 이중 플라즈마 거울(double plasma mirror) 시스템을 적용하였다. 두 반사 거울을 적용한 이중 플라즈마 거울 시스템은 30 J/cm²에서 1000 J/cm² 사이에서 에너지 집속도를 연속적으로 조절 가능하고 새로운 플라즈마 거울의 교환 전까지 약 1000 shot이 가능하도록 설계하였다.

본격적으로 상대론적인 레이저 플라즈마 실험에 앞서, 레이저 펄스의 세기 대조비에 의해 결정적으로 영향을 받는 고체 타겟으로부터 발생하는 고차조화파⁽³⁾를, 진동하는 거울 모델⁽⁴⁾을 이용하여 계산을 수행하였다. 진동하는 거울 모델을 이용한 고차조화파 계산을 통해 이미 알려진 편광의 선택 법칙이나 레이저 세기에 비례하여 증가하는 잘림(cut-off) 위치 혹은 변환 효율(conversion efficiency)의 향상을 확인할 수 있었다. 뿐만 아니라 기체원자에서 발생하는 고차조화파에서 볼 수 없었던 스펙트럼의 적색 편이(redshift) 현상과 짝수차와 홀수차 사이의 뚜렷한 세기 차이와 같은 독특한 특성을 갖고 있음을 확인하였다⁽⁵⁾.

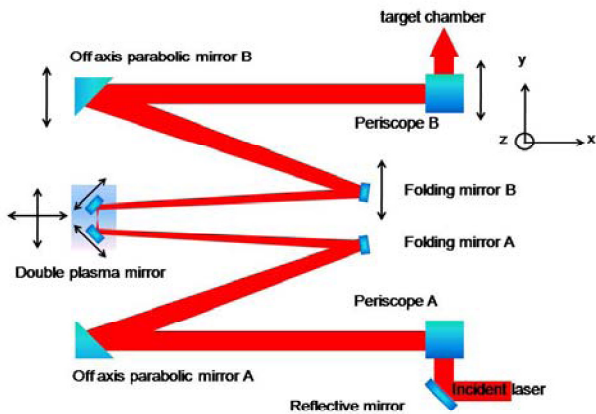


Fig. 1. Schematic diagram of double plasma mirror system. Linear translations for controlling the energy fluence on plasma mirror are denoted by the arrows.

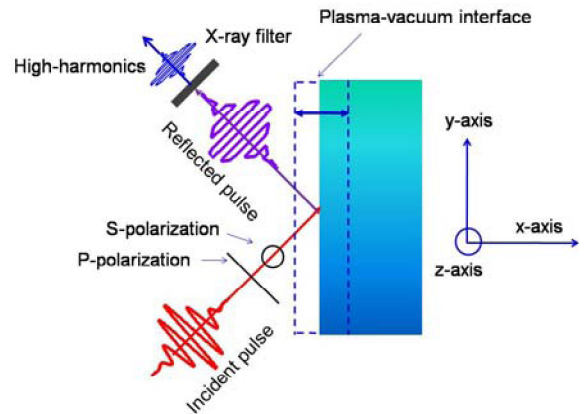


Fig. 2. Scheme for high-harmonic generation from solid surface driven by an oscillating mirror.

참고문헌

1. C. Thaury, F. Quere, J.-P. Geindre, A. Levy, T. Ceccotti, P. Monot, M. Bougeard, F. Reau, P. D'oliveira, P. Audebert, R. Marjoribanks, and Ph. Martin, "Plasma mirrors for Ultrahigh-intensity optics," *Nature. Phys.* **3**, 424 (2007).
2. A. Levy, T. Ceccotti, P. D'Oliveira, F. Reau, M. Perdrix, F. Quere, P. Monot, M. Bougeard, H. Lagadec, and P. Martin, "Double plasma mirror for ultrahigh temporal contrast ultraintense laser pulses," *Opt. Lett.* **32**, 310 (2007).
3. B. Dromey, S. Kar, C. Bellei, D. C. Carroll, R. J. Clarke, J. S. Green, S. Kneip, K. Markey, S. R. Nage, P. T. Simpson, L. Willingale, P. McKenna, D. Neely, Z. Najmudin, K. Krushelnick, P. A. Norreys, and M. Zepf, "Bright Multi-keV Harmonic Generation form Relativistically Oscillating Plasma Surfaces," *Phy. Rev. Lett.* **99**, 085001 (2007).
4. R. Lichters, J. Meyer-ter-Vehn, and A. Pukhov, "Short-pulse laser harmonics from oscillating plasma surfaces driven at relativistic intensity" *Phys. Plasmas.* **3**, 3425 (1996)
5. I Jong Kim, Il Woo Choi, Karol Adam Janulewicz, and Jongmin Lee, submitted to *J. Opt. Soc. Kor.*