

Effects of laser prepulse on laser accelerated proton beams for different target materials

이기태, 이지영*, 이용우, 박성희, 차용호, 예권해, 정영욱
 한국원자력연구원 양자광학연구부, *한남대학교 응용광학 및 전자기학과
 klee@kaeri.re.kr

강한 세기의 레이저빔⁽¹⁾을 얇은 박막에 집속하여 고에너지의 양성자/이온빔을 발생하는 기술은 극한 물리 조건에 대한 탐구로서의 흥미뿐만 아니라, 입자 가속 기술로써 많은 주목을 받고 있다. 레이저에 의해 가속된 양성자빔은 고품질⁽²⁾, 짧은 펄스폭, 그리고 안정된 빔 지향성⁽³⁾을 가지고 있는 것으로 관측이 되었다. 또한 최근에는 좁은 에너지 폭을 가진 양성자⁽⁴⁾ 및 탄소 이온빔⁽⁵⁾의 발생에 성공함으로써 단색의 에너지를 가진 이온빔을 발생시킬 수 있는 가능성을 보였다. 이러한 특성들은 레이저에 의해 가속된 이온빔을 방사선동위 원소 생산, 고속의 플라즈마 진단, 관서핵융합의 고속 점화, 암치료, 핵물리 등과 같은 다양한 분야에 응용⁽⁶⁾하는 것을 가능하게 하고 있다.

고강도의 레이저에 의해 발생된 플라즈마에서 높은 에너지의 양성자빔이 발생하는 것을 설명하기 위한 노력들이 진행되고 있는데, 특히 금속 타겟의 뒷면에서 발생하는 경우는 Mora의 isothermal expansion model^(7,8) 혹은 TNSA (Target Normal Sheath Acceleration) 모형으로 잘 설명되고 있다. 하지만, 최근에 플라스틱 타겟에서 발생하는 양성자빔은 금속 타겟에 비해 에너지가 높을 뿐만 아니라, 발생량도 많은 것으로 관측되고 있다⁽⁹⁻¹²⁾. 특히 이 때 발생하는 양성자의 최대 에너지는 Mora의 TNSA 모형으로 설명되지 않고 있다⁽¹²⁾. 최근에 본 연구팀에서는 이를 설명하기 위한 가속 모형으로 ARIE (Acceleration by Resistively Induced Electric field) 모형⁽¹²⁾을 제안하였다. 이 가속 모형은 금속 타겟과는 달리 초기 플라스틱 플라즈마의 큰 저항에 의해 형성된 강한 전기장에 의해 양성자가 가속된다.

본 연구팀은 레이저의 선행 펄스가 타겟의 종류에 따라 양성자 발생에 미치는 연구를 수행하였다. 레이저 펄스로는 한국원자력연구원의 펄스폭이 30 fs이고 10 TW의 Ti:Sapphire 레이저를 사용하였다. 이 레이저는 f/4.5 Off-axis-parabola mirror를 사용하여 타겟에 45도의 입사각을 가지고 집속되었으며, 이 때 집속 세기는 약 2.2×10^{18} W/cm²이다. 레이저 선행 펄스는 pulse picker로 사용되는 pockels cell의 지연시간을 변화시킴으로써 조정하였다. 그림 1은 이 지연시간에 따른 선행 펄스폭의 변화와 레이저 에너지의 변화를 나타낸 것이다. 선행 펄스폭은 fast photodiode를 사용하여 측정하였으며, contrast ratio가 약 10^{-8} 인 곳을 기준으로 하였다⁽¹³⁾. 타겟으로는 두께가 2, 6, 15 μm 인 Al과 2, 6, 12.5 μm 인 Mylar를 사용하였으며, 양성자빔의 에너지는 Thomson parabola spectrometer⁽¹⁴⁾를 사용하여 측정하였다.

그림 2는 Pockels cell의 지연시간을 변화시키면서 여러 타겟에서 발생한 양성자의 최대 에너지를 그린 그림이다. 전체적으로는 타겟의 종류에 관계없이 두께가 얇을수록 선행펄스폭이 짧은 곳에서 최대 에너지가 최적이 된다. 하지만 금속의 경우에는 두께가 얇을수록 최적의 최대에너지가 크고 기존의

TNSA 모형과도 잘 일치하지만, 플라스틱의 경우에는 최적이 되는 선행펄스폭의 위치에만 차이가 나고 최적의 최대에너지는 비슷한 값을 보여준다. 또한 타겟의 종류에 관계없는 TNSA 모형에서 제시하는 최대에너지보다 더 큰 에너지를 가지고 있다.

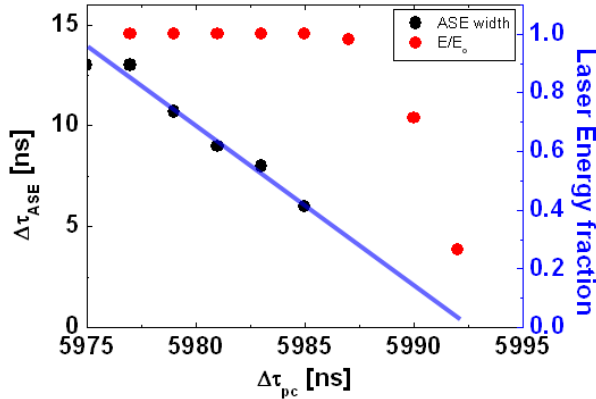


그림 1 Pockels cell의 지연시간에 따른 선행펄스폭과 레이저 에너지의 변화. 선행 펄스폭은 고속 photodiode를 사용하여 측정하였으며, 측정이 불가능한 부분은 fitting된 선으로 표시하였다. 선행 펄스폭은 contrast ratio가 약 10^{-8} 정도 되는 곳을 기준으로 하였다.

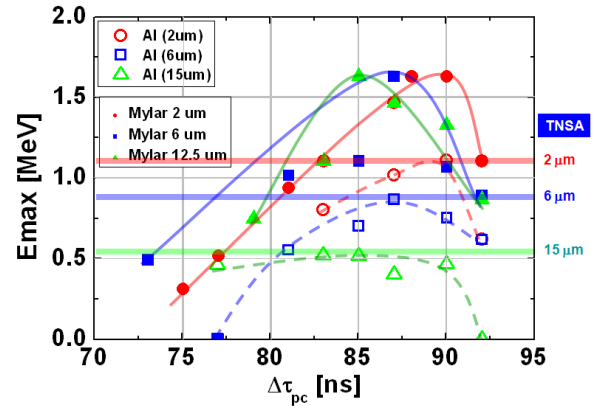


그림 2 Pockels cell의 지연시간을 변화시키면서 측정한 양성자빔의 최대에너지. 금속 박막의 경우에는 TNSA 모형과 비교해서 잘 맞는 것을 보여준다.

1. M. D. Perry and G. Mourou, Science **264**, 917 (1994).
2. T. Cowan *et al.*, Phys. Rev. Lett. **92**, 204801 (2004).
3. J. Schreiber *et al.*, Phys. Plasmas **13**, 033111 (2006).
4. H. Schworer *et al.*, Nature **439**, 445 (2006).
5. B. M. Hegelich *et al.*, Nature **439**, 441 (2006).
6. D. Umstadter, J. Phys. D: Appl. Phys. **36**, R151 (2003).
7. P. Mora, Phys. Rev. Lett. **90**, 185002 (2003).
8. J. Fuchs *et al.*, Nature Phys. **2**, 48 (2006).
9. R. A. Snavely *et al.*, Phys. Rev. Lett. **85**, 2945 (2000).
10. I. Spencer *et al.*, Phys. Rev. E **67**, 046402 (2003).
11. Y. Wada, Jpn. J. Appl. Phys. **44**, 3299 (2005).
12. K. Lee *et al.*, in preparation
13. Y. H. Cha *et al.*, J. Appl. Opt. **46**, 6854 (2007).
14. J. Y. Lee *et al.*, J. Korean Phys. Soc. **51**, 426 (2007).