

중수소화 폴리스틸렌 타겟에서 레이저 유도 고속중성자발생

Laser Produced Fast Neutrons in Deuterated Polystyrene Targets

이성만, 권성욱, 권덕희, 남성모, 차형기
 양자광학기술개발센터, 한국원자력연구원
 smlee3@kaeri.re.kr

최근 고평균출력을 갖는 극초단레이저가 개발되어 감에 따라 레이저 유도 고속 중성자원은 발전용 레이저 핵융합로 내벽에 사용할 소재나 챔버내 각종광학계 재료의 시험에 사용될 수 있는 최적의 펄스 고속중성자원으로 인식되고 있다. 또한, 레이저 유도 고속중성자원은 상대적으로 운용이 쉽고 펄스 중성자의 이점이 있어 방사선촬영(radiography)이나 단층촬영(tomography)에 이용가능성이 크다. 그러나 이러한 응용을 위해서는 많은 양의 중성자를 발생시키는 것이 중요하며, 높은 중성자 이득을 기대하기 위해서는 약 1 MeV에 이르는 충분한 중양자 이온에너지를 얻는 것이 필요하다. 중양자 이온에너지는 레이저와 타겟 파라미터들에 크게 의존하며, 특히 레이저 강도, 펄스에너지, ASE와 전치펄스(predpulse)의 강도, ASE 펄스폭, 타겟의 종류, 두께, 표면상태 등이 이온에너지의 변화에 영향을 준다. 본 논문에서는 레이저 ASE 펄스폭과 타겟의 두께를 달리하면서 중양자 에너지의 변화를 분석하였다.

먼저, 파라데이 컵 신호를 측정하여 중양자 이온에너지의 타겟 두께 의존성을 분석하였다. 측정시 사용된 제작된 타겟의 두께는 20, 30, 60, 80, 100, 그리고 130 μm 이며, 각각의 타겟의 두께변화는 약 5 μm 이내이다. 그림 1(a)에서 최대이온에너지는 타겟의 두께가 가장 얇은 20 μm 인 경우로서 636 keV로 측정되었다. 두께가 증가함에 따라 중양자 에너지는 감소하였으며, 측정된 에너지는 30 μm 에서 407.6 keV, 100 μm 에서 76.2 keV 정도이다. 타겟의 두께가 130 μm 인 경우에는 레이저 빔이 타겟을 관통하지 못하고 이온에너지도 측정이 어려웠다. 그림 1(b)에 나타낸 ASE의 펄스폭이 10 ns로 긴 경우에는 짧은 경우에 비해서 이온에너지가 전체적으로 감소하였으며, 30 μm 에서 352.7 keV, 그리고 100 μm 에서 30 keV로 측정되었다.

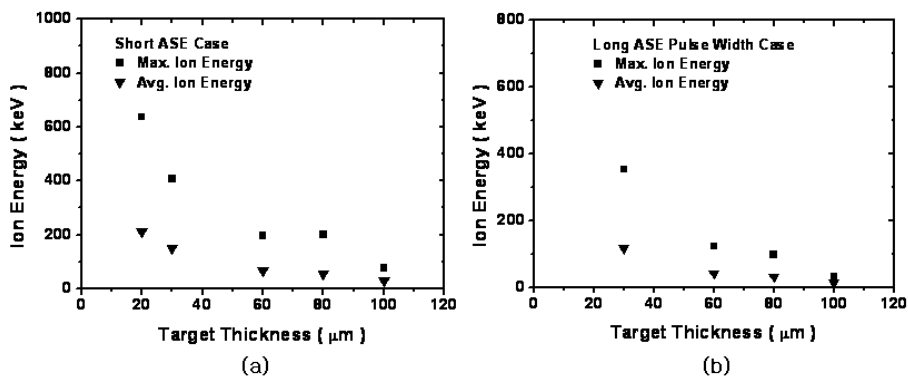


그림 2. 중양자 에너지의 타겟 두께 의존성 측정결과; (a) 1ns ASE 펄스, (b) 10 ns ASE 펄스폭

섬광검출기는 강한 X-선 신호에 많은 영향을 받으므로 이를 이용해 중성자 수를 측정하기 위해서는 비교적 고가의 캐맥(Camac)을 이용한 중성자 검출기 시스템의 구축이 필요하다. 본 연구에서는 감마선과 X-선, 전자 등에 민감하지 않은 CR-39 검출기를 이용하여 중성자 수를 측정하였다. CR-39를 이용한 중성자 비적 검출과정은 다음과 같다. 먼저 CR-39 검출기를 고체타겟으로부터 발생하는 고속중성자 펄스에 약 100회 정도 노출시킨 후에 90°C의 온도와 7N의 농도를 갖는 NaOH 용액에 2시간 현상시킨다. 이때 고속중성자는 CR-39내의 양성자와 탄성(n,p)산란을 일으키며, 산란된 양성자에 의해서 CR-39 내부에 손상이 일어난다. 손상된 부분이 현상 시에 에칭과정에 의해서 비적을 남기게 된다. 그림 2는 타겟으로부터 8 cm 떨어진 지점에 설치된 CR-39 검출기로부터 검출된 중성자 비적의 현미경 사진을 보여주고 있다. 4개의 샘플링 사진은 각각 약 1 mm²의 CR-39에 남겨진 중성자 비적에 해당하며, 중성자 계수를 위하여 2"x2" 크기를 갖는 CR-39로부터 15 지점에서 평균 비적수를 계산하였다. 평균비적수에 구면적을 곱하고 노출회수로 나눈 후에 CR-39의 검출효율을 감안하면 고체타겟으로부터 생성된 고속중성자의 수를 유추할 수 있다. 현재까지 알려진 CR-39의 중성자 검출 효율은 DD 중성자의 경우 1.1×10^{-4} 정도이며, 이는 $0.91 \times 10^{+4}$ 개의 중성자가 CR-39에 입사할 때마다 1개의 중성자 비적을 남김을 의미한다.

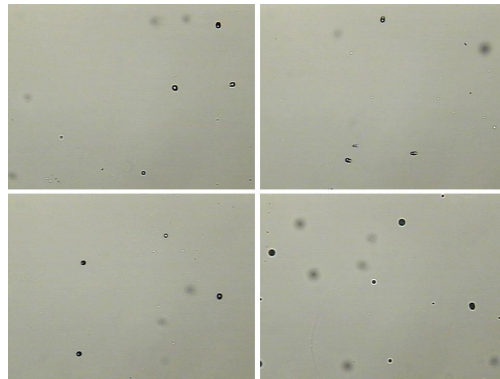


그림 2. CR-39에 의해서 측정된 중성자 트랙 모습

1 ns 와 10 ns의 ASE 펄스폭을 갖는 레이저 빔을 사용하여 ASE의 펄스폭이 중성자 발생에 미치는 영향을 조사하였다. 1 ns의 짧은 ASE 펄스폭을 갖는 레이저 빔을 사용할 경우에 80 μm의 두께를 갖는 C₈D₈ 고체타겟으로부터 레이저 펄스 당 3,533개의 중성자 비적이 검출되었으며, 이는 3.2×10^7 개/펄스의 중성자 발생을 의미한다. 이와 대조적으로 10 ns의 ASE 펄스폭을 갖는 레이저빔을 사용한 경우에 위와 동일한 고체타겟에 대해서 441/펄스의 중성자 비적이 검출되었으며, CR-39의 검출효율을 감안하면 4×10^6 /펄스의 중성자 발생에 해당한다. 그러나 중성자 수 계산에서 공간적으로 균일한 중성자발생분포를 가정하였으므로 비교적 정확한 실제로 발생한 중성자수의 계산을 위해서는 발생한 중성자의 공간 분포에 대한 연구가 앞으로 필요하다.

1. S. Karsch, S. Düsterer, H. Schwoerer, F. Ewald, D. Habs, M. Hegelich, G. Pretzler, A. Pukhov, K. Witte and R. Sauerbrey, "High-Intensity Laser Induced Ion Acceleration from Heavy-Water Droplets", Phys. Rev. Lett. **91**, 015001 (2003).
2. G. Grillion, Ph. Balcou, J.-P. Chambret, D. Hulin, J. Martino, S. Moustaziz, L. Notebaert, M. Pittman, Th. Pussieux, A. Rousseau, S. Sebban, O. Sublemontier and M. Schmitd, "Deuterium-Deuterium Fusion Dynamics in Low-Density Molecular-Cluster Jets Irradiated by Intense Ultrafast Laser Pulses", Phys. Rev. Lett. **89**, 065005-1 (2002).