

펄초레이저에 의한 중수소클러스터로부터의 고에너지 이온 발생

남성모, 한재민, 이용주, 권덕희, 이성만, 차형기
한국원자력연구원, 양자광학기술개발센터
smnam@kaeri.re.kr

서론

핵융합에 의한 중성자의 발생을 목적으로, 중수소클러스터로부터 고에너지의 중수소이온을 발생시켰다. 중수소클러스터와 레이저의 상호 작용을 레이저 흡수도와 레이저 진행방향에 따른 이온의 에너지변화를 측정하여 분석하였다. D-D 핵융합에 의해 4π 방향으로 최대 3×10^3 개의 중성자를 얻을 수 있었다.

본론

사용된 레이저는 주펄스에서 10 ns 앞에 주펄스 대비 10^{-4} 크기의 이중전치펄스가 존재하며, 주펄스와 전치펄스의 배경에는 주펄스 대비 최대 10^{-8} 크기의 ASE가 광범위하게 깔려있다. 주펄스 앞에 위치하는 ASE는, 전치증폭기 뒤에 위치한 펄스선택기에 의해 부분적으로 제거가 가능하다. 주펄스의 8 ns 앞에서 펄스선택기를 열면 전치펄스는 완전히 제거된다.

펄스선택기를 여는 시간(주펄스에서 13 ns, 8 ns, 3 ns 앞)을 달리하면서 그림 1과 같이 레이저의 흡수도를 측정하였다. 낮은 압력에서는 클러스터의 크기가 작기 때문에 전치펄스(13 ns)가 있는 경우 전치펄스에 의하여 대부분의 클러스터가 붕괴되어 주펄스가 도달했을 때는 저밀도 플라즈마가 형성되어, 전치 펄스가 없는 경우(8 ns, 3 ns)에 비해 레이저 흡수가 매우 나빠짐을 볼 수 있다. 압력이 높아지면 그 차이가 줄어들는데 이는 클러스터의 크기가 증가하면서 프리펄스의 효과가 줄어들음을 보여준다. ASE는 에너지밀도가 낮아 이온화에 기여하는 바가 적기 때문에 ASE를 증감시킨다고 하더라도 그 효과가 미미함을 알 수 있다.

전치펄스의 유무와 ASE의 폭에 따른 이온의 최대에너지 의존성을 알아보기 위해 TOF(Time of Flight)방법으로 이온에너지를 조사하였다. 그림 2에서 낮은 압력에서는 전치펄스가 고에너지 이온의 발생에 도움이 된다. 그러나 이 경우 전치펄스가 없는 경우에 비해 이온의 총 전류량은 적었다. 5 MPa 까지는 이온의 최대에너지가 ASE의 시간 폭 변화에 상관없이 증가세를 보인다. 6 MPa 이상에서는 첨두펄스가 매우 나쁜 영향을 보여 이온의 최대에너지가 오히려 감소하게 된다. 클러스터의 크기분포가 어떤 크기를 넘어서면 첨두펄스가 큰 크기의 클러스터를 작은 크기의 이온화된 클러스터들로 나뉘지게 하고 이 조각들이 주펄스에 의해 작은 에너지를 가진 이온들을 형성하게 한다고 보아진다. 또 첨두펄스가 없는 두 경우 이온의 최대에너지가 포화를 나타낸다. 이 경우 레이저 에너지가 부족하여 크기가 큰 클러스터의 전자들이 완전히 이온화되지 않아서 쿨롬포텐셜이 증가하지 않고 따라서 운동에너지도 증가하지 않음으로 설명된다. 따라서 중성자발생 효율이 가장 높은 압력이 5MPa 보다 좀 더 높은 값일 것이라는 예측이 가능하다.

클러스터분포 내에서 레이저에 의해 형성된 플라즈마채널에서 공간적으로 변화하는 이온의 특성을 조사하기 위하여 이동형 슬릿을 제작하였다. 슬릿은 주변으로부터 오는 이온들을 막기 위하여 튜브를 부착하고 클러스터 분포 전면으로부터 레이저 진행방향으로 움직이는 일차원 이동식 거치대에 설치하였다. 플라즈마채널에서 슬릿까지의 거리는 2 cm 이므로 패러데이컵에서 측정되는 이온신호의 공간분해능은 거의 슬릿의 크기(0.5 mm)에 의해 결정된다.

ASE시간폭이 3 ns 인 경우 최대이온전류신호에서의 이온에너지를 측정하고 압력에 따른 그 변화를 그림 3과

같이 조사하였다. 3 MPa 의 압력에서는 이온전류신호의 최대치가 클러스터 분포의 중앙보다 후면에서 발생되었다. 낮은 압력에서는 레이저가 클러스터를 쉽게 투과하고 클러스터분포 전체의 길이에 에너지를 전달함을 보여 준다. 압력이 증가하면, 클러스터 분포의 중앙보다 후면에서는 이온신호가 거의 관측되지 않으며, 최대이온전류 신호가 클러스터분포의 표면으로 이동함을 볼 수 있다. 즉 플라즈마채널이 클러스터분포의 내부로 자라지 못하고 오히려 짧아짐을 나타낸다. 5 MPa 과 7 MPa 압력에서 이온신호를 서로 비교하면 7 MPa에서 이온신호의 크기는 줄어들지만 에너지는 높은 쪽으로 이동하였다. 이 실험에서 나타나는 이온의 에너지 범위 내에서는 핵융합반응이 이온의 양보다는 에너지 의존성이 훨씬 더 크기 때문에 7 MPa에서 보다 높은 반응효율을 기대할 수 있다. 8 MPa에서는 높은 에너지의 이온의 클러스터분포의 거의 가장자리에서만 발생하고 그 이온전류 값도 매우 낮아 중성자의 발생 효율도 낮을 것으로 추측된다.

그림 4와 같이 7MPa에서 최대 3×10^3 개의 중성자가 4π 방향으로 계측되었다. 일반적으로 클러스터의 크기가 커지면 쿨롬포텐셜이 증가하고 핵반응효율도 증가하나 번 연구에서는 8MPa 이상에서는 오히려 감소함을 알 수 있었으며, 이는 레이저의 강도가 매우 큰 클러스터들을 이온화시키기에는 부족함으로 설명된다.

결론

현재의 레이저 강도에서 보다 높은 핵반응효율을 얻기 위해서는 CD4, D2+Ar, DI 등의 복합 기체나 합성물질을 사용할 필요가 있다고 결론이 내려진다.

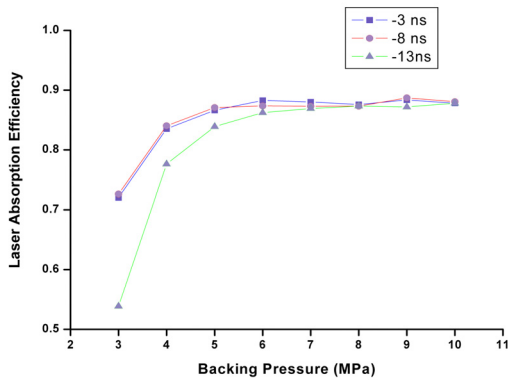


그림 1. 레이저 흡수율 측정

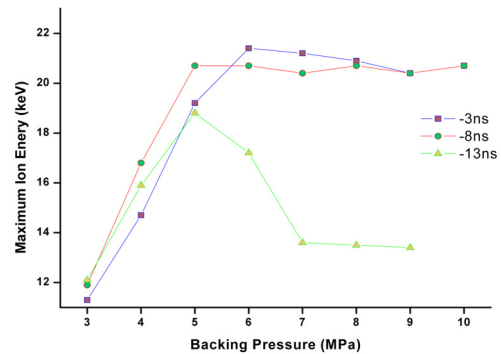


그림 2. 최대이온 에너지 측정

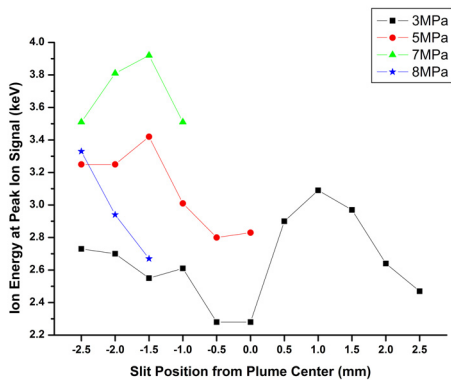


그림 3. 플라즈마 위치에 따른 이온에너지의 분포

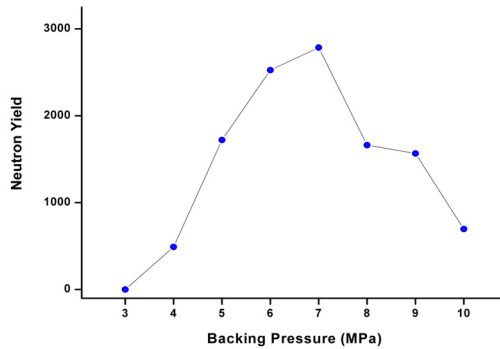


그림 4. 압력변화에 대한 중성자의 발생