

고출력 펨토초 레이저를 이용한 양성자 Radiography 공간분해능 향상에 관한 연구

최창일¹ · 강병휘¹ · 김용균^{1*} · 최일우² · 고도경² · 이종민²
한양대학교¹ · 광주과학기술원 고등광기술원²
E-mail: ykkim4@hanyang.ac.kr

중심어 (keyword) : 양성자 Radiography, 펨토초 레이저, 공간분해능, Chemical Etching, CR-39

서론

펨토초 레이저는 펄스폭이 수~수십 펨토초(10^{-15} 초)인 펄스형 레이저이다. 펨토초 레이저를 집속강도가 10^{18} W/cm^2 이상이 되게 표적에 집속하면, 레이저가 가진 전자기장과 표적에서 발생한 플라즈마와의 상호작용에 의해 높은 에너지 분포를 지닌 양성자가 발생한다. 이러한 현상은 매우 짧은 시간에 의해 일어나기 때문에 매우 짧은 시간동안에 발생한 물리적 현상의 관찰 및 연구에 유용하며 현재 전 세계적으로 많은 연구가 진행중에 있다.[1]

양성자는 매질내에서 거의 직진에 가깝게 이동하는 특성을 지니고 있기 때문에 얇은 물체에 대해서 높은 공간분해능의 영상을 획득하는 데에 많은 이점이 있다. 그러나 촬영 대상의 두께가 증가할수록 획득할 수 있는 공간분해능이 매우 낮아진다는 문제점이 있다. 최근 양성자 CT와 같이 양성자의 radiography 분야에 대한 응용연구가 활발히 진행됨에 따라 양성자 radiography의 공간분해능을 향상 시키는 것이 중요한 관심사가 되고 있다.

앞서 말한바와 같이 고출력 펨토초 레이저를 이용한 양성자 radiography는 짧은 물리적 현상을 관측하는데에 유용하며 보다 정확한 정보를 획득하기 위해서는 양성자 radiography의 공간분해능을 향상 시키는 것이 중요하다. 본 연구에서는 CR-39를 사용하는 펨토초 레이저 양성자 radiography에 대해 공간분해능의 향상시킬 수 있는 방법에 대해 연구하여 보았다.

재료 및 방법

최대 10 MeV 양성자를 차폐할 수 있는 1.3 mm 두께의 polyethylene 플레이트를 CR-39 전면부에 부착한 후 그림 1.과 같이 챔버 내벽에 위치시키고 과주과 학기술원 고등광기술원의 800 MW급 펨토초 레이저 설비를 이용, 레이저를 타겟에 조사시켜 양성자를 발생하였다.

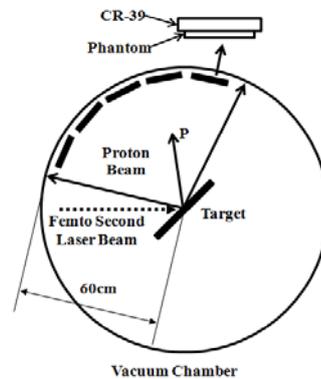


그림 1. 펨토초 레이저 양성자 Radiography 실험 개략도

실험에 사용된 레이저의 펄스폭은 32 fs 이하였으며, 타겟의 집속강도는 $3 \times 10^{19} \text{ W/cm}^2$ 이상, 발생된 양성자의 최대 에너지는 약 9 MeV였다.

양성자 조사후 CR-39 플레이트들을 NaOH 용액의 농도별, 온도별, etching 시간별로 조건을 다르게 하여 etching을 실시하였다. Etching후 CR-39를 광학현미경을 이용하여 BMP 포맷의 디지털 영상을 획득하였고, 획득된 영상으로부터 Modulation Transfer Function을 구하여 공간분해능을 평가하였다.[2]

결과 및 고찰

그림 2는 각 etching 조건별 공간분해능을 나타낸 그래프이다. 아래에서 알 수 있듯이 NaOH의 농도가 7N일 때 etching의 온도가 증가할수록, etching 시간이 감소할수록 높은 좋은 공간분해능을 가진다는 것을 알 수 있다.

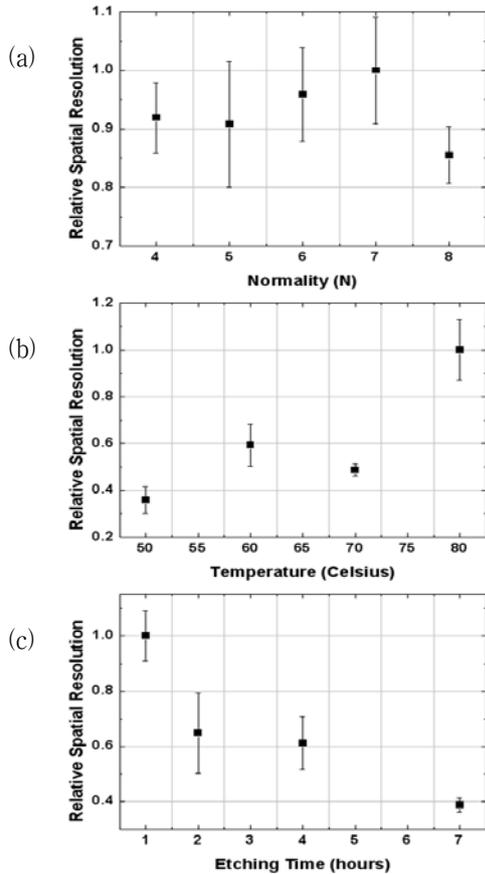


그림 2. Chemical etching 조건(용액 농도(a), 온도(b), etching 시간(c))별 상대적 공간분해능

그림 2.(c)에서 etching 시간이 증가할수록 공간분해능이 저하되는 것을 알 수 있으나 촬영대상(object)의 조건에 따라 차이가 발생한다. 그림 3은 75 μm 두께의 Mylar film을 이용하여 0 μm - 75 μm - 150 μm 의 두께를 가지는 팬텀으로 동일 조건으로 양성자를 조사하고 7N NaOH 용액에 80 $^{\circ}\text{C}$ 온도로 1, 2, 4시간동안 etching하여 현미경으로 관찰한 영상이다. 0 μm - 75 μm 영역의 경우 etching 시간이 증가할수록 두 영역간 구별이 용이하지 않게 되고, 75 μm - 150 μm 영역의 경우 etching 시간이 증가할수록 두 영역간 구별이 용이해짐을 알 수 있다.

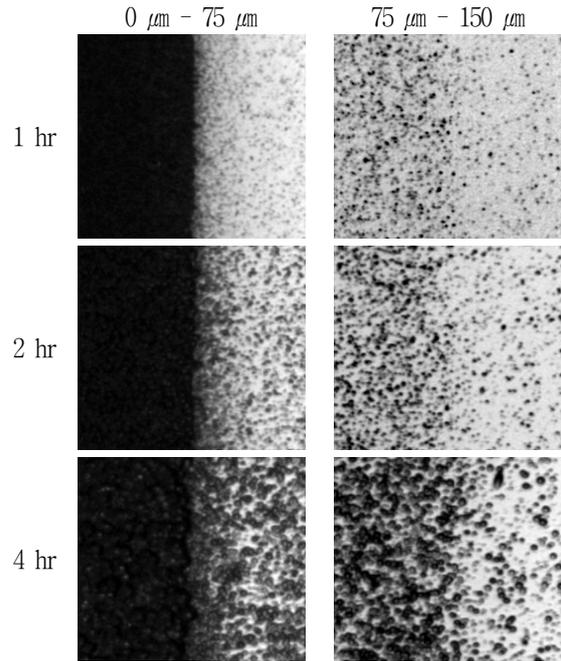


그림 3. Chemical etching 시간별 현미경 확대영상

결론

펨토초 레이저를 이용한 양성자 radiography는 앞으로 그 응용분야가 확대될 유용한 기술이다. CR-39와 펨토초 레이저를 이용한 양성자 radiography 기술은 chemical etching 조건별로 공간분해능이 변하며, 본 연구 결과 1.3 mm의 polyethylene 팬텀을 사용하였을 경우 NaOH 용액의 농도가 7N이고 온도가 80 $^{\circ}\text{C}$ 일 때 etching 시간이 짧을수록 공간분해능이 향상됨을 알 수 있었다. 그러나 object의 구조 및 재질에 따라 각각 최적화된 조건이 존재하며 도출이 필요함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 산업기술기반조성사업의 극초단 광양자빔 연구시설 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고 문헌

1. D. Umstadter, "Relativistic laser-plasma interactions," J. Phys. D: Appl. Phys. 36, R151-R165 (2003).
2. Anthony Brinton Wolbarst, Physics of Radiology (Prentice Hall International, London, UK, 1993) Chapters 18 and 24.