

## 제논과 크립톤을 이용한 광학 장 이온화 엑스선 레이저 개발

### Development of OFI (Optical-Field-Ionization) X-ray Lasers from Xe and Kr

김형택<sup>1\*</sup>, 김철민<sup>1</sup>, 최일우<sup>1</sup>, 성재희<sup>1</sup>, 홍경한<sup>1</sup>, N. Hafz<sup>1</sup>, 유태준<sup>1</sup>, 정태문<sup>1</sup>, 노영철<sup>1</sup>,  
고도경<sup>1</sup>, Tomas Mocek<sup>2</sup>, 이종민<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 광주과학기술원 고등광기술연구소 펨토과학연구소,

<sup>2</sup> Department of X-ray Lasers, Division of High Power System/PALS Center,  
Institute of Physics, Prague, Czech

[\\*htkim@gist.ac.kr](mailto:*htkim@gist.ac.kr)

극초단 고출력 레이저를 이용한 엑스선 레이저의 개발은 엑스선 분광학, 고분해능 엑스선 영상 및 홀로그래프 등의 다양한 응용 분야로 인하여 주목을 받아 왔다. 초창기의 엑스선 레이저는 대형 레이저 시설에서 연구되었으나, 극초단 고출력 레이저의 개발로 상대적으로 적은 레이저 에너지를 이용하여 발진할 수 있게 되었다. 최근에서는 GRIP (Grazing Incident Pumping) 방법의 개발<sup>[1]</sup>과 광학 장 이온화 엑스선의 개발<sup>[2]</sup>로 1 J 정도의 레이저 에너지로 포화발진이 가능해 졌다. 특히 광학 장 이온화 엑스선 레이저를 이용한 고차조화파 주입 엑스선 레이저<sup>[3]</sup>의 개발되면서 많은 주목을 받아 왔다. 이에 본 연구진은 고등광기술연구소의 극초단 광양자빔 시설을 이용하여 Xe과 Kr에서 발생하는 광학 장 이온화 엑스선 레이저 발진에 성공하였다.

광학 장 이온화 엑스선 레이저는 그림 1에서 보는 바와 같이 100 TW 광양자빔 레이저 시스템을 이용하여 발생시켰다. 원형 편광된 펨토초 고출력 레이저 펄스가 기체 매질에 집속되면, 레이저의 전기장이 고가의 이온과 전자를 형성한다. Xe과 Kr의 경우 극초단 레이저 펄스에 의해 8가의 이온 상태가 되고, 또한 원형 편광된 레이저 장에 의해 가속된 전자가 Xe과 Kr 이온을 충돌 여기 시키면서 밀도 반전이 형성된다. 이 밀도 반전에 의해 엑스선 레이저가 발진하게 된다. 본 실험에서는 0.8 J의 에너지와 30 fs의 펄스폭을 가진 원형 편광된 레이저 펄스를 40~50 Torr의 압력의 Kr과 Xe에 집속하여 엑스선 레이저를 발진시켰다. 그림 2에서 보는 바와 같이 Xe의 경우 32.8 nm, Kr의 경우 41.8 nm의 엑스선 레이저가 발진한 것을 볼 수 있다. 특히 본 연구에서는 1 J 이상의 레이저 에너지를 Kr 기체에 입사시키는 경우 선형 편광된 레이저 펄스를 이용하더라도 광학 장 이온화 엑스선 레이저 발진이 가능한 것을 실험적으로 관측하였다. 본 연구진은 GRIP 방법을 이용하여 매질에서 발생하는 13.9 nm의 엑스선 레이저 발진에 성공하였고, 이번 연구로 Xe과 Kr을 이용한 32.8 nm와 41.8 nm 광학 장 이온화 엑스선 레이저 발진에 성공하여 향후 엑스선 분광학, 엑스선 이미지 등의 다양한 응용 분야에 엑스선 레이저를 활용할 수 있을 것이라 기대하고 있다.

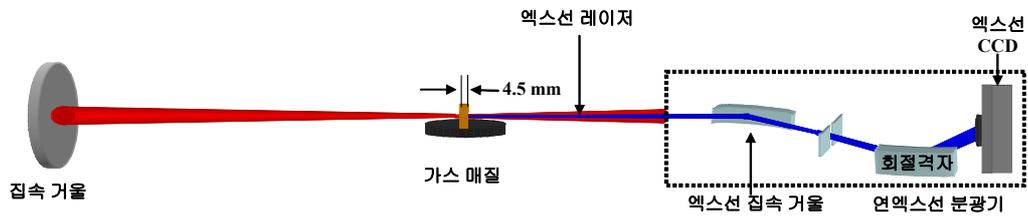


그림 1 광학 장 이온화 엑스선 레이저 발진을 위한 실험 개략도

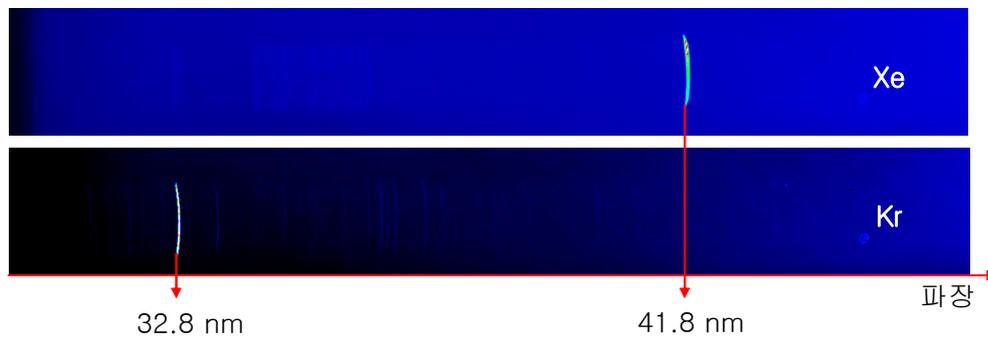


그림 2 Xe과 Kr에서 발생한 광학 장 이온화 엑스선 레이저 분광 신호

참고문헌

- [1] J. Tümmler et al., Phys. Rev. E 72, 037401 (2005).
- [2] S. Sebban et al., Phys. Rev. Lett. 89, 253901 (2002).
- [3] Ph. Zeitoun et al., *Nature* **43**, 426 (2004).