

1 kHz 반복률을 가진 결맞는 엑스선 발생과 공간 결맞음성 측정

Coherent X-ray generation at 1 kHz repetition rate and the measurement of its spatial coherence

박종주*, 이동근, 성재희, 이용수, 남창희

한국과학기술원 물리학과, 결맞는 X선 연구단

jjpark@cais.kaist.ac.kr

강한 세기의 레이저가 원자에 입사하면 원자내의 쿨롱 퍼텐셜이 심하게 왜곡되어 전자가 터널링 이온화된다. 이 이온화된 전자가 레이저 장에 의해 가속되었다가 레이저 장의 방향이 바뀌면 원래의 원자와 결합하면서 고에너지의 광자를 발생시킨다. 레이저의 주기적인 상호작용에 의해 생성된 광자의 에너지는 입사하는 레이저 에너지의 홀수 배에 해당하게 되며, 이를 고차조화파(high-order harmonics)라 한다. 특히 고차조화파는 연엑스선 영역의 빛을 작은 규모의 장치와 적은 비용으로도 발생시키기 때문에 연엑스선의 광원으로서 각광을 받고 있으며, 여러 분야에 사용되어지기 위한 연구가 폭넓게 이루어지고 있다.⁽¹⁾

고차조화파를 실제분야에서 이용하기 위해 빔 특징을 조사하는 것이 필수적이다. 본 연구에서는 1 kHz의 반복률을 가지는 고풍력 Ti:Sapphire 레이저 펄스를 아르곤 원자에 입사시켜 고차조화파를 발생시켰으며, 바늘쌍 간섭실험을 통해서 발생한 고차조화파의 공간적 결맞음성을 조사하였다. Ti:Sapphire 레이저의 펄스 폭은 25 fs 이고, 펄스 당 에너지는 1.1 mJ, 중심파장은 800 nm 이다. 이러한 고풍력 레이저 펄스를 $f = 50$ cm 구면 거울로 아르곤 기체를 채운 유리 모세관(길이 4 cm, 지름 350 μm)에 집속시켜 고차조화파를 발생시켰다. 아르곤 기체의 밀도는 $2 \times 10^{17} - 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 이다. 발생한 고차조화파는 평면결상형 극자외선 분광기로 분광하였으며, 엑스선 CCD로 검출하였다.

그림 1.은 아르곤 기체에서 발생한 고차조화파의 스펙트럼이다. 주로 27차에서 37차에 해당하는 고차조화파가 발생되었음을 볼 수 있다. 고차조화파의 공간적 결맞음성을 측정하기 위해서 레이저 에너지와 빔의 지름, 아르곤 기체의 밀도를 조절하여 특정 차수의 조화파가 강하게 발생하도록 하였다. 고차조화파의 간섭무늬를 측정하기 위해 분광기 앞에 바늘구멍 쌍을 설치하였다. 바늘구멍 쌍은 18 μm 두께의 알루미늄 호일에 각각 지름이 5 μm 인 원형 구멍을 레이저를 이용해 뚫었으며, 바늘구멍간의 간격은 20 - 160 μm 이다. 바늘구멍간의 간격이 100 μm 일 때의 간섭무늬는 그림 2.에 나타나있다. 간섭무늬를 이용해 발생한 고차조화파의 공간적 결맞음성을 알 수 있으며, 바늘구멍간의 간격에 따른 가시도를 측정함으로써 조화파 빔의 공간적 위치에 따른 결맞음 정도를 조사하였

다.

이를 통해 발생된 고차조화파는 거의 전 공간영역에 대해 우수한 결맞음성을 가지고 있음을 보였다. 고반복률과 우수한 결맞음성을 가지는 고차조화파는 엑스선 영역의 광학계 테스트⁽²⁾, 엑스선 홀로그래피 등에 활용되어질 것이다.

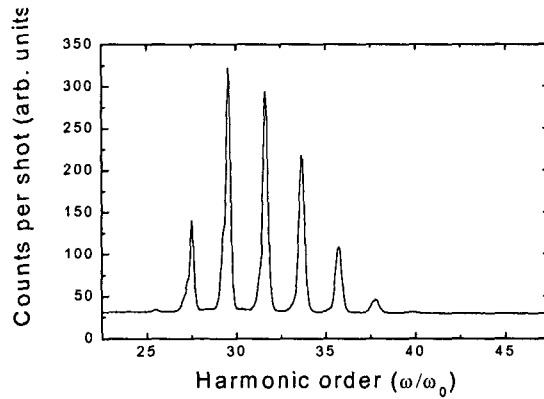


그림 1. 아르곤 기체와 고출력 레이저 펄스와의 상호작용으로 발생된 고차조화파 스펙트럼

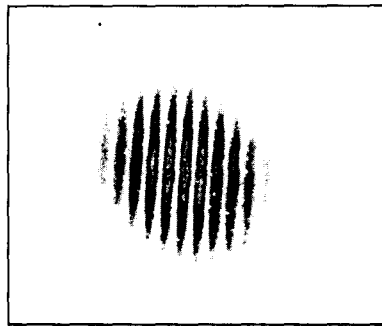


그림 2. 바늘구멍간의 간격이 100 μm 일 때의 간섭무늬

1. H. J. Shin, D. G. Lee, Y. H. Cha, K. H. Hong, and C. H. Nam, Phys. Rev. Lett. **83**, 2544 (1999).
2. D. G. Lee, J. J. Park, J. H. Sung, and C. H. Nam, Opt. Lett. (accepted).