

편광과 상대위상이 조절되는 이색 레이저장을 이용한 강한 고차조화파의 발생

Generation of strong high-harmonics in an polarization, and relative-phase-controlled two-color laser field

김이중, 김철민, 김형택, 이계황, 이용수, 박주운, 남창희
한국과학기술원 물리학과/결맞는 X선 연구단
TEL : +82-42-869-8423, FAX : +82-42-869-2510
kimijong@kaist.ac.kr

티타늄 사파이어 레이저에서 발생된 기본파와 이차조화파로 이루어진 이색레이저장을 사용하여 헬륨에서 강한 고차조화파를 발생시켰고 이 현상의 물리적인 해석을 제시하였다.

기본파의 편광과 이차조화파의 편광이 수직이고 두 파의 세기가 비슷하거나 이차조화파가 셀 때, 그림 1에서 보듯이 기본파를 사용한 경우보다는 100 배이상 세고 두 파의 편광 방향이 평행이 경우보다도 센 고차 조화파가 발생하였다 [1].

이의 해석을 위해 고차 조화파를 발생시키는 전자의 궤도와 매 순간에서의 터널링 이온화율을 계산하였다. 그림 2는 기본파와 이차조화파의 편광 방향이 서로 수직이고 상대 위상이 $\phi = -4\pi/8$ 일 때의 레이저장의 리사쥬 도형과 이온화율, 재결합하는 전자의 연속상태 (continuum state)에서의 운동 시간 (traveling time)을 나타낸다. 이 때 재결합하는 전자 궤도는 레이저장의 원점부근에서만 (C와 D지점 사이) 존재하며, 전자의 운동 시간이 기본파 주기의 0.3 배 이하로 짧고 발생된 조화파의 최고차수도 51차로 단색파인 경우보다 낮다. 기본파만을 사용한 경우의 같은 시간대에 발생하는 전자궤도와 비교하면, 이색파내에서 형성되는 궤도는 이온화율이 높으므로 궤도가 더 많이 형성되고, 운동 시간이 짧으므로 전자 파속의 퍼짐이 적고 발생된 고차 조화파의 레이저장의 세기에 대한 의존성이 작다. 고차 조화파를 발생시키기 위해서는 10^{14} W/cm^2 이상의 세기가 필요하므로, 수 mJ의 에너지를 갖는 수십 fs 정도의 펄스를 $100 \mu\text{m}^2$ 정도로 집속하여 사용한다. 따라서 발생된 고차조화파가 레이저장의 시공간적 세기 변화에 민감하게 변한다면 센 고차조화파를 얻을 수 없다. 하지만 이색파를 이용하면 원자 수준에서 고차 조화파의 발생 특성을 조절하여 레이저장의 시공간적 세기 변화에 둔감한 고차 조화파를 세게 발생시킬 수 있다. 계산에 의하면 이러한 양상은 상대 위상이 $\phi = -5\pi/8$ 와 $\phi = -3\pi/8$ 사이에 있을 때 나타나며 π 의 주기를 갖는다 [2].

분산을 갖는 유리를 사용하여 상대위상을 조절했을 때, 2.8 mJ의 에너지를 갖는 레이저 펄스로 150 nJ의 에너지를 갖는 38차 조화파를 얻을 수 있었고 이때의 변환 효율은 5×10^{-5} 에 이르렀다.

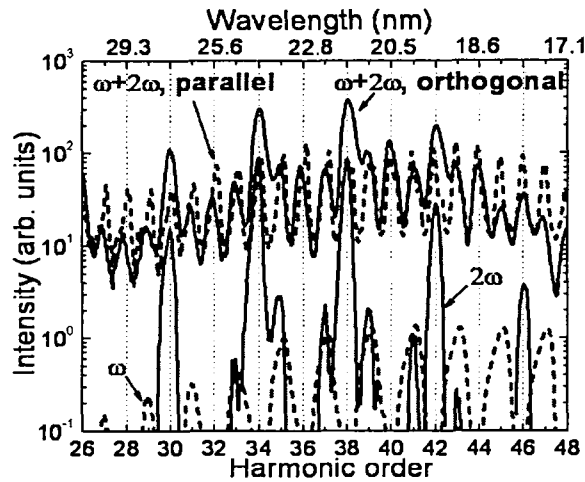


그림 1 단색파(기본파와 이차조화파)와 이색파(수직편광과 수평편광)내에서 발생된 고차조화파의 스펙트럼.

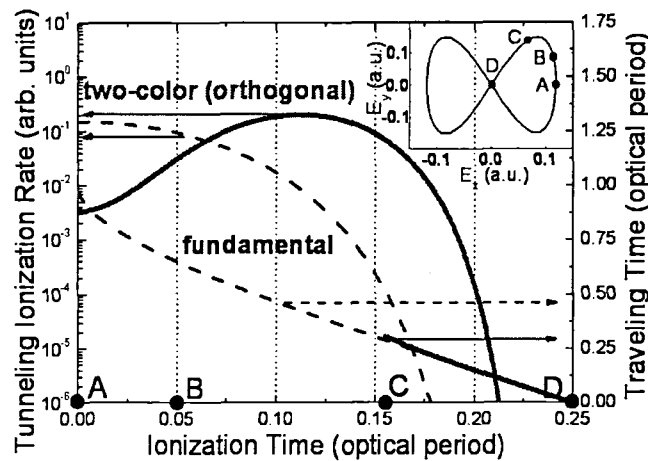


그림 2 단색파와 이색파를 사용한 경우의 전자의 터널링 이온화율과 재결합하는 전자의 운동 시간. 안쪽 그림은 이색파의 리사주 도형을 나타낸다.

참고문헌

[1] I Jong Kim, Hyung Taek Kim, Chul Min Kim, Jong Ju Park, Yong Soo Lee, Kyung-Han Hong and Chang Hee Nam, "Efficient high-order harmonic generation in a two-color laser field," Appl. Phys. B. 78, 859-861 (2004)

[2] I Jong Kim, Chul Min Kim, Hyung Taek Kim, Gae-Hwang Lee, Yong Soo Lee, Ju-yun Park and Chang Hee Nam, "Highly efficient high-harmonic generation in an orthogonally polarized two-color laser field," Phys. Rev. Lett (submitted).

