

V형 원자계에서 광유도 위상마스크을 이용한 광 보텍스의 생성

Generation of optical vortices using light-induced phase mask in a V-type atomic system

전진호, 최원식, 오명규, 안경원, 이재형

서울대학교 물리학과

newcomb@photon.snu.ac.kr

광 보텍스(optical vortex)를 포함한 빔은 optical tweezer, optical waveguide 등으로의 응용가능성 때문에 많은 관심을 끌어들였다. 이러한 응용을 위해 광 보텍스의 선형 및 비선형적 특성에 대해 많은 연구가 이루어져있다^(1,2). 보텍스를 발생시키는 방법으로는 레이저 공진기를 변형하거나, 홀로그래피나 위상 마스크에 레이저를 조사하는 방법 등의 여러 방법이 알려져 있다. 본 연구에서는 기존의 방법과는 달리 원자기체 내에서 펌프광에 의해 유도된 위상마스크가 탐침광에 보텍스들을 어떻게 발생시키는지에 대해 연구하였다.

그림 1이 실험장치도이다. 실험매질로는 3준위 V형 전이선을 가진 루비듐 원자기체를 이용하였다. 루비듐 원자셀의 길이는 75mm이고, 가열장치에 의해 약 50 °C로 유지되어 원자밀도가 $8.3 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 정도였다. 두 전이선의 도플러 선폭 퍼짐은 각각 약 500 MHz이었다. 펌프광(795 nm, $^{85}\text{Rb } 5S_{1/2} F_g=2 \rightarrow 5P_{1/2} F_e=2$)은 500 mW 이상의 파워를 가진 단일파장 Ti:sapphire 레이저를, 탐침광(780 nm, $^{85}\text{Rb } 5S_{1/2} F_g=2 \rightarrow 5P_{3/2} F_e=2$)은 단일파장 외부공진기 다이오드 레이저를 이용하였다. 두 전이선의 자연 선폭은 각각 6 MHz이다. 파장 및 온도안정화를 통해 두 레이저 모두 약 1 MHz의 선폭을 갖도록 하였다. 펌프광과 탐침광의 파워는 각각 200 mW와 4.5 mW이었다. 편광빔살가르개를 이용하여 같은 방향으로 진행하는 두 레이저빔을 쉽게 분리하기 위해 서로 수직인 선형편광상태로 입사시켰다. CCD를 이용하여 탐침광의 단면변화를 관측하였다. 커버글라스를 위상마스크로 사용하여 입사하는 펌프광의 입사각을 조절하여 펌프광의 위상분포를 변화시켰다. 탐침광의 주파수는 고정된 채 펌프광의 주파수를 바꾸어가면서 측정하였다.

루비듐 원자셀을 펌프광과 탐침광이 함께 진행할 때, 서로 같은 기저상태를 공유하기 때문에 펌프광이 탐침광에 영향을 준다. 따라서 펌프광이 공명주파수에 가까울수록 약한 탐침광에 영향을 줄 수 있는 비선형 굴절률 효과가 커지게 된다. 그림 2의 (a)는 탐침광만 존재하는 경우로 보텍스의 존재유무를 알 수 없으나 기준빔과 간섭시킨 (c)에서 알 수 있는 바와 같이 3개의 보텍스가 발생되었음을 알 수 있다. 탐침광과 펌프광은 각각 305 MHz, 290 MHz red-detune되어 있었다. 이를 전산시뮬한 것이 (d)이고 실험과 잘 일치함을 알 수 있다. 다만 실험에서는 전산시뮬에서 예측되는 보텍스가 모두 나타나지 않았는데 이는 실험과 전산시뮬상에서 펌프광의 세기와 분포가 서로 차이가 있기 때문이라 생각된다.

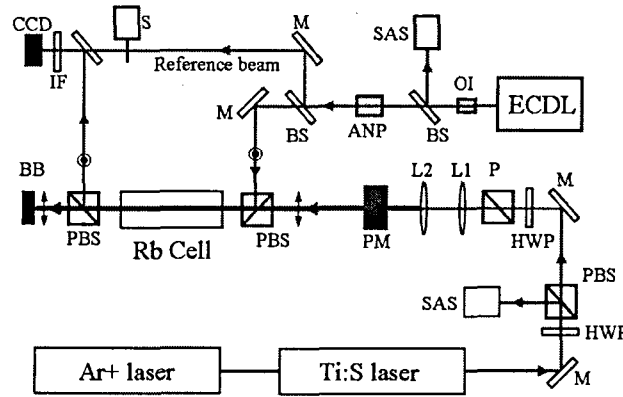


그림 1. 실험장치도. ECDL : 외부공진기 다이오드 레이저, PM : 위상마스크, HWP : half-wave plate, PBS : 편광빔살가르개, SAS : 포화흡수분광장치, W : 윈도우, M : 거울, IF : 간섭필터, PD : 광다이오드, CCD : charge coupled device, ANP : anamorphic prism pair, OI : optical isolator.

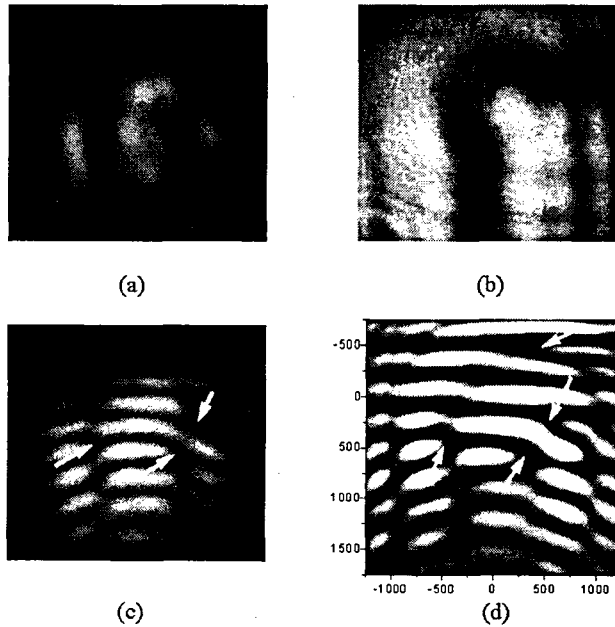


그림 2. 305MHz red-detune된 탐침광과 290MHz red-detune된 L자 모양의 어두운 골을 포함한 펌프광에 의해 생성된 (a) 탐침광만의 단면, (b) 펌프광의 단면, (c) 기준빔과 간섭한 탐침광의 단면 (d) 전산시뮬레이션 결과.

참고문헌

1. G. Indebetouw, "Optical vortices and their propagation", J. Mod. Opt. 40, 73-87 (1993); B. Luther-Davies, J. Christou, and V. Tikhonenko, "Optical vortex solitons: experiment versus theory", J. Opt. Soc. Am. B 14, 3045-3053 (1997).
2. G. H. Kim, J. H. Jeon, Y. C. Noh, K. H. Ko, H. J. Moon, J. H. Lee, and J. S. Chang, "An array of phase singularities in a self-defocusing medium", Opt. Commun. 147, 131-137 (1998).

T
E