

## V형 원자계에서의 광에 의해 유도된 위상마스크에 의한

## 위상특이점의 생성

## Generation of vortices by a light-induced phase mask

## in a V-type atomic system

전진호, 최원식, 오명규, 안경원, 이재형

서울대학교 물리학과

newcomb@photon.snu.ac.kr

위상특이점이라고도 불리는 광 보텍스(optical vortex)를 포함한 빔은 파면의 특이성 때문에 많은 관심을 끌어들였다. 위상을 정의할 수 없는 위상특이점을 따라서는 빔의 동일위상파면이 소용돌이 형태를 가진다. 그 소용돌이 정도는 위상전하(topological charge) 라는 양으로 특징지을 수 있다. 광 보텍스는 선형 및 비선형적 특성에 대해 많은 연구가 이루어져왔다<sup>(1,2)</sup>. 레이저 공진기를 변형하거나, 홀로그램이나 위상마스크에 레이저를 조사하여 보텍스를 발생시키는 방법 등의 여러 방법이 알려져 있다. 본 연구에서는 기존의 방법과는 달리 원자기체내에서 보텍스 배열이나 L자 모양의 어두운 골이 포함된 펌프광에 의해 유도된 위상마스크가 탐침광에 보텍스들을 어떻게 발생시키는지에 대해 연구하였다.

실험매질로는 3준위 V형 전이선을 가진 루비듐 원자기체를 이용하였다. 탐침광의 경우 780 nm(<sup>85</sup>Rb 5S<sub>1/2</sub> F<sub>g</sub>=2 → 5P<sub>3/2</sub> F<sub>e</sub>=2)을, 펌프광의 경우 795 nm(<sup>85</sup>Rb 5S<sub>1/2</sub> F<sub>g</sub>=2 → 5P<sub>1/2</sub> F<sub>e</sub>=2)을 이용하였다. 두 전이선의 자연 선폭은 각각 1 MHz이다. 실험에 사용된 루비듐 원자셀의 길이는 75mm이고, 가열장치에 의해 약 50 °C로 유지되어 원자밀도가 1.057 x 10<sup>11</sup> cm<sup>-3</sup> 정도였다. 두 전이선의 도플러 선폭 퍼짐은 각각 약 600 MHz이었다. 그림 1이 실험장치도이다. 펌프광은 600 mW 이상의 파워를 가진 단일파장 Ti:sapphire 레이저를, 탐침광은 단일파장 외부공진기 다이오드 레이저를 이용하였다. 파장 및 온도안정화를 통해 두 레이저 모두 약 1 MHz의 선폭을 가지고 있었다. 펌프광과 탐침광의 파워는 각각 200 mW와 4.5 mW이었다. 편광빛살가르개를 이용하여 같은 방향으로 진행하는 두 레이저빔을 쉽게 분리하기 위해 서로 수직인 선형편광상태로 입사시켰다. CCD를 이용하여 탐침광의 단면변화를 관측하였다. 커버글라스를 위상마스크로 사용하여 입사하는 펌프광과의 입사각을 조절하여 펌프광의 위상분포를 변화시켰다. 또 휘어진 위상마스크를 이용하여 펌프광에 보텍스 배열을 발생시켰다<sup>(2)</sup>. 탐침광의 주파수는 고정한 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. 펌프광이 보텍스 배열을 포함하고 있는 경우 탐침광만으로는 보텍스 발생여부를 알 수 없다(그림 2(a)). 그러나, 기준빔과의 간섭무늬를 보면 한 쌍의 보텍스가 생성되었음을 알 수 있다(그림 2(b)). 이 때의 탐침광과 펌프광은 각각 400 MHz, 418 MHz red-detune되어 있다. 생성된 보텍스1과 2의 위상변화를 보면 그 방향이 서로 반대이므로, 원래 total charge는 보존된다. 펌프광이 L자 모양의 어두운 골을 포함하는 경우(그림 2(c)와 2(d))는 한 쌍의 서로 반대되는 charge를

같은 보텍스(보텍스 3과 4)가 발생되었고, 이 때의 탐침광과 펌프광은 각각 310 MHz, 420 MHz red-detune되어 있었다.

큰 실험에서는 V형 시스템에서 보텍스 배열이나 L자 모양의 어두운 골을 포함하는 펌프광에 의해 비선형 굴절률이 발생되고 이로 인해 전체 charge가 보존되는 보텍스가 발생됨을 관측하였다. 이러한 현상의 이해를 위해 전산시뮬을 통해 V형 시스템에서의 굴절률 변화로 인해 어떻게 보텍스를 발생시키는지에 대한 연구를 하고 있다.

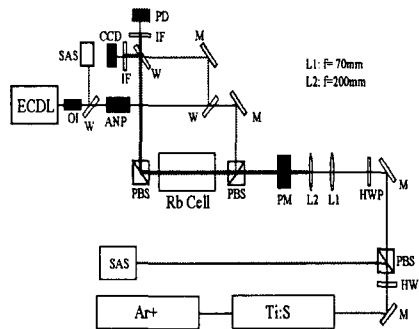


그림 1. 실험장치도. ECDL : 외부공진기 다이오드 레이저, PM : 위상마스크, HWP : half-wave plate, PBS : 편광빔살가르개, SAS : 포화흡수분광장치, W : 윈도우, M : 거울, IF : 간섭필터, PD : 광다이오드, CCD : charge coupled device, ANP : anamorphic prism pair, OI : optical isolator.

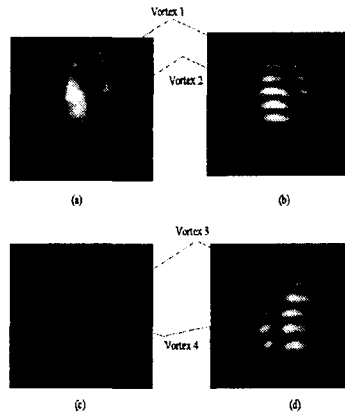


그림 2. 400MHz red-detune된 탐침광과 418MHz red-detune된 배열을 포함한 펌프광에 의해 생성된 (a) 탐침광만의 단면과 (b) 기준빔과 간섭한 탐침광의 단면. 310MHz red-detune된 탐침광과 420MHz red-detune된 L자 모양의 어두운 골을 포함한 펌프광에 의해 생성된 (c) 탐침광만의 단면과 (d) 기준빔과 간섭한 탐침광의 단면.

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).