

광매개 하향 변환을 이용한 근접장과 원거리장에서의 고스트 이미징

Ghost imaging in a near field and far field using parametric down conversion

강윤식, 이창혁, 노재우
인하대학교 물리학과
nihianar@hanmail.net

고스트 이미징은 물체에 조사된 빛이 직접적으로 상을 맺지 않고, 얽혀 있는 빛에 의하여 공간적으로 떨어져 있는 곳에 상이 맺히게 하는 방식이다. 이것이 처음 제안되었을 때에는 얽혀 있는 빛을 만들기 위하여 광매개 하향 변환을 이용하였다.[1] 고스트 이미징은 빛의 양자적인 얽힘 상태를 이용하는 것으로 생각되어졌다. 하지만, 이 후 고전적인 빛에 진행 방향에 대한 얽힘을 부여하여 고스트 이미징을 구현하는 실험이 수행되었다. 그 실험은 고스트 이미징이 빛의 양자적인 얽힘만을 보여주는 것이 아님을 증명하는 것이었다.

그러나 고스트 이미징에 있어 빛의 고전적인 얽힘과 양자적인 얽힘이 완전히 동등한 효과를 주는 것은 아니다. 빛의 양자적인 얽힘을 이용한 고스트 이미징은 근접장과 원거리장에서 모두 해상도가 높은 상의 형성이 가능하다. 하지만, 빛의 고전적인 얽힘을 이용한 고스트 이미징의 경우, 근접장과 원거리장중 하나에서는 해상도가 높은 상의 형성이 나타날 수 있지만, 다른 하나에서는 해상도가 매우 떨어지는 상이 형성된다. 이것은 고전적인 빛은 위치와 파수 벡터의 수직 성분의 불확정도의 곱이 가지는 한계 때문에 나타난다. 즉, 빛의 위치의 얽힘을 완전하게 만들어내면 파수 벡터의 방향이, 파수 벡터의 방향의 얽힘을 완전하게 만들어내면 위치의 불확정도가 늘어나 양쪽 모두의 완전한 얽힘을 만들어 낼 수는 없게 되는 것이다. 방향의 얽힘이 원거리장에서의 고스트 이미징을, 위치의 얽힘이 근접장에서의 고스트 이미징을 만들어 내는 것이기에, 두 얽힘이 동시에 만들어질 수 없다면 근접장과 원거리장에서의 고스트 이미징을 같이 볼 수는 없게 된다.

그에 비해 양자적인 얽힘을 가지고 있는 빛은 위치와 파수 벡터의 수직 성분의 얽힘이 완전히 동시에 나타난다. 따라서 양자적인 얽힘을 가지고 있는 빛은 근접장과 원거리장의 고스트 이미징을 같이 만들어낼 수 있다. 이것은 고전적인 빛으로는 구현할 수 없는 것이다. [2]

그림1은 이것을 실험한 구성도이다. 광원은 티타늄-사파이어 레이저에 의해 발진된 중심파장 810nm의 빛을 BBO 결정에 입사시켜 제2조화파를 발생시켜 생성된 405nm의 빛을 사용하였다. 이것을 500 μ m의 두께를 가지는 type-II BBO 결정에 입사시켜 광매개 하향 변환을 일으킨다. 여기서 생성된 정상 광선과 이상광선을 편광 빔살 가르개에 의해 분리시킨 후, 하나는 물체에 조사한 뒤 bucket detector에 의해 검출하고, 다른 하나는 스캔을 통해 이미지를 얻어내었다.

그림1-a는 원거리장에서의 고스트 이미징의 구성도이다. 편광 빔살 가르개를 통과한 후, 초점거리 50mm인 렌즈를 놓았다. 한 쪽 렌즈의 초점거리의 위치에 이중 슬릿을 놓고 투과한 빛을 모두 렌즈로 모아 APD에 입사시켰다. 반대편 렌즈의 초점거리에는 스캔하기 위한 APD를 설치하고, 두 APD에 의해 나온 신호를 coincidence unit를 이용해 측정하였다. 그림1-b는 근접장에서의 고스트 이미징의 구성도이다. BBO결정에 의해 생성된 광매

개 하향 변환된 빛이 초점거리 100mm인 렌즈를 통과한 후, 편광 빗살 가르개를 통과하여 각각 물체와 스캔하는 쪽으로 나아간다. 이중 슬릿은 결정에서 생성된 광대개 하향 변환의 이미지가 맺히는 위치에 놓이게 되고, 스캔하는 APD 역시 이미지가 맺히는 위치에 놓인다. coincidence time window는 7.5ns이었다. 간섭 필터의 중심파장은 810nm, 선폭은 10nm이다.

그림2는 각 장치에서의 이미지이다. 그림2-a는 원거리장에서의 고스트 이미지이고, 그림2-b는 근접장에서의 고스트 이미지이다. 원거리장과 근접장에서의 이미지가 모두 잘 맺힌 것을 확인할 수 있다. 이로써 양자적인 얽힘을 가진 광자 쌍으로 수행하는 고스트 이미징은 근접장과 원거리장에서 모두 잘 이루어진다는 것을 확인할 수 있었다.

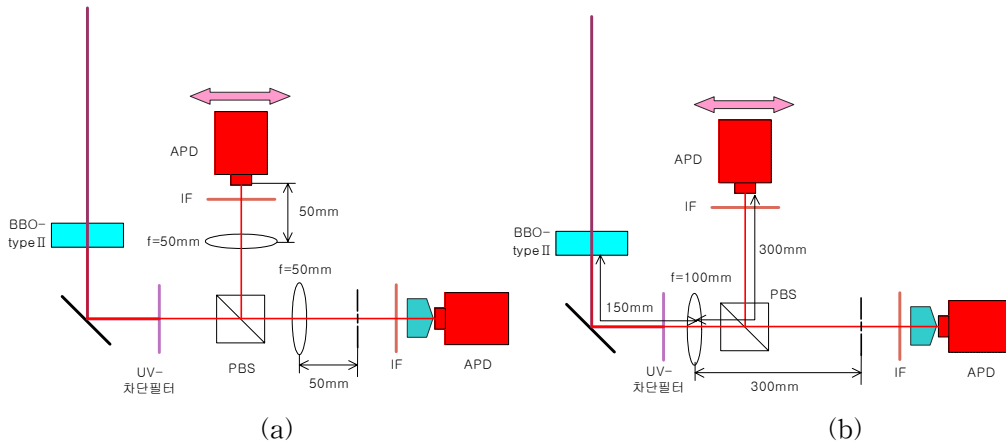


그림1. 고스트 이미징 구성도. (a)는 원거리장에서의 고스트 이미징, (b)는 근접장에서의 고스트 이미징이다.

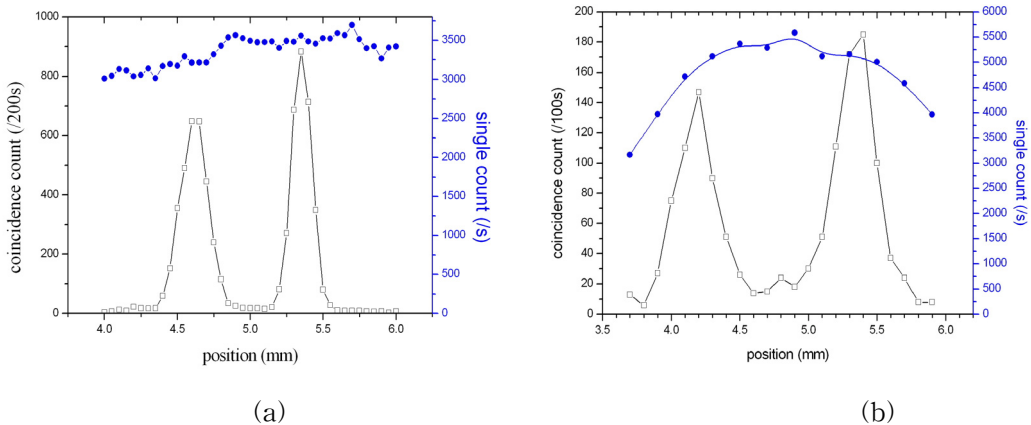


그림2. (a)는 원거리장에서의 고스트 이미지, (b)는 근접장에서의 고스트 이미지이다.

이 연구는 The Korea Research Foundation (KRF-2006-321-C00551)의 지원으로 수행하였다.

참고문헌

[1] T. B. Pittman, Y. H. Shih, D. V. Strekalov, and A. V. Sergienko, Phys. Rev. A. 52, R3429 (1995)
 [2] Rayn S. Bennink, Sean J. Bentley, and Robert W. Boyd, Phys. Rev. Lett. 92, 033601-1 (2004).