

Hong-Ou-Mandel 간섭계를 이용한 두 광자의 공간적인 간섭 Spatial two-photon interference in a HOM interferometer

김현오*, 권오성, 김원식, 김태수
전자통신연구원*, 울산대학교 물리학과
tskim@mail.ulsan.ac.kr

본 연구는 Hong-Ou-Mandel 간섭계를 이용하여 공간적인 두-광자의 간섭현상을 측정하였다. SPDC에서 발생한 signal과 idler 광자는 거울 M₁과 M₂에서 반사한 후, BS에서 다시 만나게 된다. 동시에 BS에 도달한 두 광자는 BS를 빠져나와서 두 검출기로 입사하게 된다. 그림 1은 signal과 idler 광자가 두 검출기로 입사할 때, 각 θ 를 가지고 입사한다는 것을 보이고 있다. 만약 BS에 입사하는 경로를 1, 2라고 하면, BS의 두 출구에서의 두 경로를 3, 4라 한다면, 경로 3, 4에서 두 광자의 연산자는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{a}_3 = \frac{i}{\sqrt{2}}\hat{a}_1 e^{i\vec{k}_{1A} \cdot \vec{r}_A} + \frac{1}{\sqrt{2}}\hat{a}_2 e^{i\vec{k}_{2A} \cdot \vec{r}_A}, \quad \hat{a}_3^\dagger = \frac{-i}{\sqrt{2}}\hat{a}_1^\dagger e^{-i\vec{k}_{1A} \cdot \vec{r}_A} + \frac{1}{\sqrt{2}}\hat{a}_2^\dagger e^{-i\vec{k}_{2A} \cdot \vec{r}_A}$$

$$\hat{a}_4 = \frac{1}{\sqrt{2}}\hat{a}_1 e^{i\vec{k}_{1B} \cdot \vec{r}_B} + \frac{i}{\sqrt{2}}\hat{a}_2 e^{i\vec{k}_{2B} \cdot \vec{r}_B}, \quad \hat{a}_4^\dagger = \frac{1}{\sqrt{2}}\hat{a}_1^\dagger e^{-i\vec{k}_{1B} \cdot \vec{r}_B} + \frac{-i}{\sqrt{2}}\hat{a}_2^\dagger e^{-i\vec{k}_{2B} \cdot \vec{r}_B}$$

여기서 $\vec{k}_{1A}, \vec{k}_{2A}, \vec{k}_{1B}$ 그리고 \vec{k}_{2B} 는 검출기로 가는 경로의 파 벡터이고, \vec{r}_A, \vec{r}_B 는 검출기의 위치 벡터이다. 두-광자의 간섭은 두 검출기에서 측정할 수 있는 동시계수율(R_c)로 표현하기 때문에 두 검출기에 각 θ 를 가지고 입사하는 두 광자의 간섭은

$$R_c = K_1 \left\{ 1 - \text{sinc}^2\left(\frac{\pi \Delta x \theta}{\lambda}\right) \cos\left[\frac{2\pi(x_A - x_B)\theta}{\lambda}\right] \right\}$$

와 같이 된다. 그러므로 간섭무늬는 $\theta=0$ 일 때 최소가 된다. 간섭무늬의 선명도는 각도에 의존하는 $\text{sinc}^2\left(\frac{\pi \Delta x \theta}{\lambda}\right)$ 에 의해 결정된다.

공간적인 두-광자의 4차 간섭을 측정하기 위한 실험장치도는 그림 2와 같다. 파장이 325 nm의 펄스광을 BBO 결정에 입사시키면, SPDC에 의해 650 nm의 같은 파장을 갖는 signal과 idler라는 두 광자가 발생한다. signal과 idler는 각각 두 개의 거울 M₁과 M₂에서 반사하여 두 광자의 경로가 상대적으로 같은 위치에 놓여 있는 BS에서 만나게 된다. BS를 통과한 두 광자는 그림 1에서 나타내듯이 signal이 반사하고 idler가 투과한 경우와, signal이 투과하고 idler가 반사한 경우에 두 광자는 두 검출기에서 각 θ 를 가지고 만나게 된다. 즉, signal과 idler는 각 θ 를 가지고 두 검출기로 입사하게 된다.

BS의 위치를 조절하여 두 광자가 도달하는 상대적인 시간차를 0으로 하여 HOM 효과인 동시계수가 0이 되도록 조절하였다. HOM dip인 상태에서 한 쪽 경로의 거울 M₂를 수직방향으로 회전을 시켰다. 거울의 회전각 ϕ 에 대해서 두 검출기에서 측정되는 동시계수가 일정한 주기로 최소값과 최대값으로 변화하는 것을 확인 할 수 있었다. 또한, 한 쪽 경로의 거울 M₂를 최소값을 가지는 위치에서 수직방향으로 회전시켜 최대값을 구한 다음 다른 쪽 경로에 놓여있는 거울 M₁을 수직방향으로 회전시키면 다시 최소값을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

그림 3은 측정장치의 폭 Δx 를 변화시켰을 때, 공간간섭무늬의 두 번째 최소가 사라지는 공간간섭 무늬의 변화를 측정하였다.

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2002-070-C00029).

참고문헌

1. L. Mandel, Rev. Mod. Phys. **71**, S274 (1991).
2. R. Ghosh and L. Mandel, Phys. Rev. Lett. **59**, 1903 (1987).
3. C. K. Hong, Z. Y. Ou and L. Mandel, Phys. Rev. Lett. **59**, 2044 (1987).

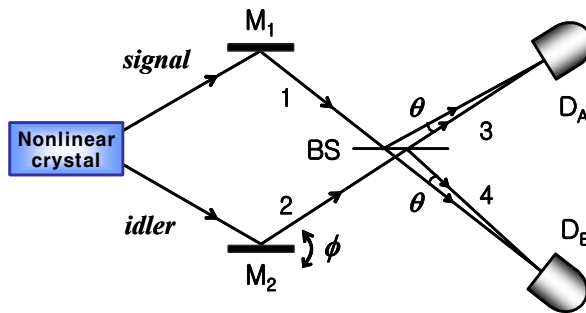


그림 1. 공간적인 두-광자 간섭 실험 개념도.

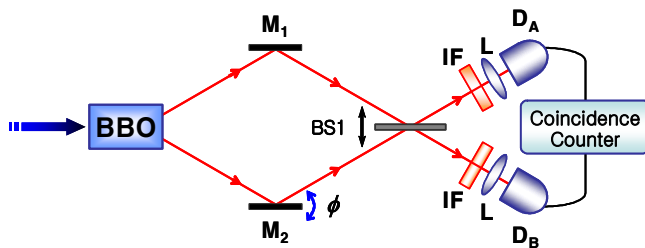


그림 2. 실험장치도

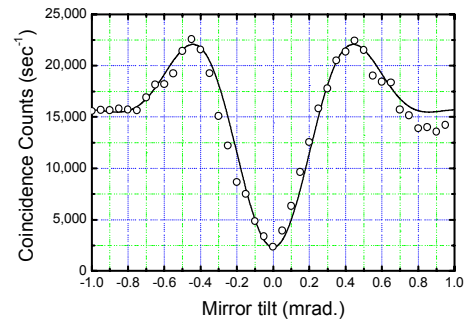


그림 3. 측정장치 폭 Δx 의 변화에 따른 공간간섭무늬.