Sagnac 간섭계를 이용한 Wigner 함수의 측정

Measurement of the Wigner function with Sagnac interferometer

김의석, 김형주, 노재우
인하대학교 물리학과
ddol-2@hanmail.net

2차원 벡터 ξ 로 기술되는 횡평면에서 변하는 마당 $E(\xi)$ 에 대한 Wigner 함수는 간단히 다음과 같이 쓸 수 있다[1]

$$W(x,k) = \frac{1}{\pi^2}\langle \int d^2\xi \ [\exp(-ik\xi)E(x-\xi)]^*\exp(ik\xi)E(x+\xi)\rangle \tag{1}$$

식 (1) 에 의하면 위상공간에서의 한 점 (x, k) 에서의 Wigner 함수는 두 개의 마당 $\exp(ik\xi)E(x+\xi)$와 같은 마당을 180 ˚회전 시켜 얻는 $\exp(-ik\xi)E(x-\xi)$ 의 켤레복소수를 겹쳐서 공간적으로 적분해서 얻어지며 $\exp(ik\xi)E(x+\xi)$는 원래의 마당을 공간상에서 x만큼 이동시키고 진행방향을 k만큼 변화시킨 것이다.[1]

식 (1) 에 따라 Wigner 함수를 측정하기 위해 그림1 의 (a)와 같이 Sagnac 간섭계를 구성하였다.

실험에 쓰인 거울 M1은 x방향으로 평행이동하거나 θ만큼 회전하면서 Wigner 함수가 측정되는 위상공간에서의 한 점 (x, k)를 결정한다. 실험에서는 간섭계안에 빛다발 가르개 (BS)로부터, 두 개의 방향에 대해 같은 거리에 도브 프리즘을 위치시켰는데 간섭계 평면에 대해 45 ˚기울어져서 간섭계 안에서 반대방향으로 회전하는 두 개의 마당은 이 프리즘을 통과한 후에 상대적으로 180 ˚의 회전효과($\xi \rightarrow -\xi$)를 갖게 된다.

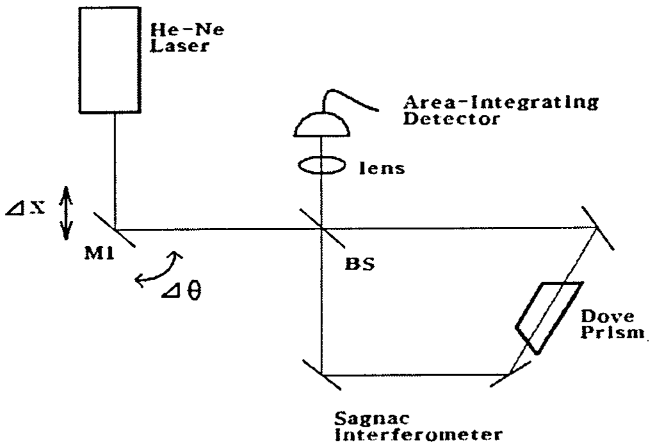
8mm 의 활성영역(active area)을 갖는 검출기를 사용하여 간섭계로부터 나온 광이 렌즈에 의해 집속되어 모두 검출기에 검출되도록 하였다.

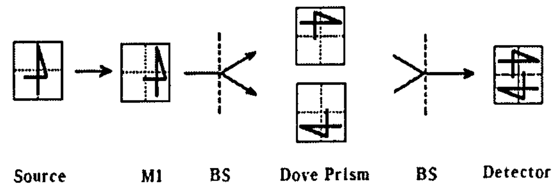
검출기에 입사하는 빛의 세기를 I 라고 하면 $I = I_1 + I_2 + I_{1,2}$ 로 쓸 수 있으며 이중 처음 두 항은 간섭이 일어나지 않을 때 BS에 입사하는 두 마당 각각의 세기이고 따라서 (x, k)에 대해 상수이다. $I_{1,2}$가 간섭에 의한 세기인데 Wigner 함수와는 다음의 관계에 있다.[1]

$$I_{1,2} = \frac{\pi^2 \cos\phi}{2} W(x,k) \tag{2}$$

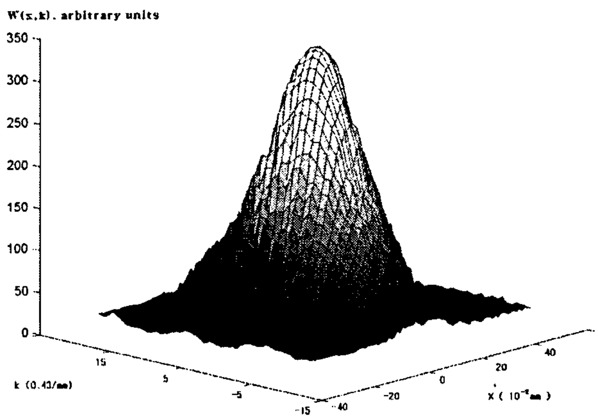
그러므로 전체 Wigner 함수 W(x,k) 는 x와 k를 변화시키면서 측정된 세기에서 상수성분을 빼주면 식 (2)에 의해 계산될 수 있다. ϕ는 간섭하는 두 마당의 상대적 위상이다.

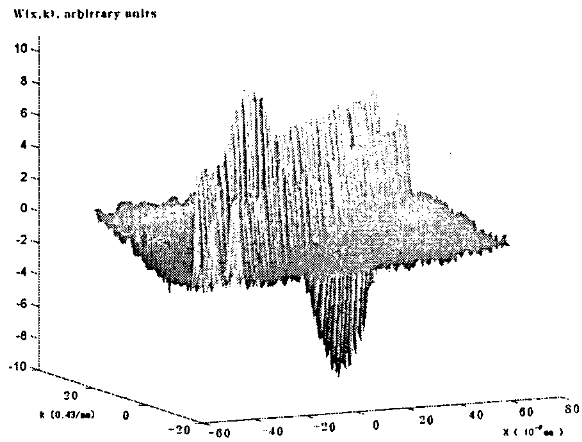
그림 2와 3은 Wigner 함수를 측정한 결과이다. 그림 2는 렌즈에 의해 M1에 집속된 광에 대해 측정한 것인데 Gaussian Wigner 함수의 형태를 갖는다. 그림 3은 렌즈를 통과한 빛이 이중 슬릿을 지나도록 해서 얻은 결과이다. 그림3의 (b)를 보면 Wigner 함수가 (x, k) 평면에서 직선과 가까운 분포를 갖는데 이는 x와 k가 강한 상관관계를 가짐을 의미하며 입사광이 슬릿을 통과하면서 회절을 일으킨 결과이다.



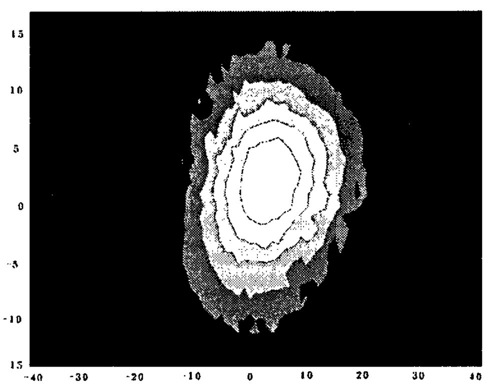


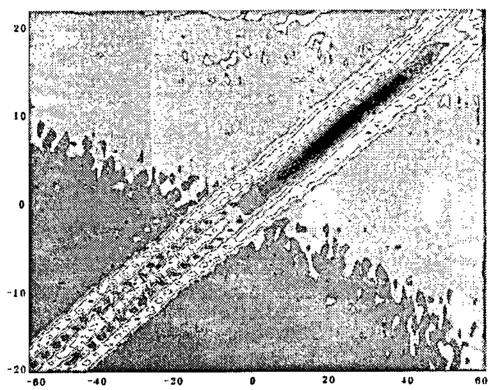
(b) dove prism 을 통과하는 두 개의 beam





(a) Wigner 함수 W(x,k)





(b) W(x,k) 의 2차원 분포

그림 2. M1에 집속된 beam에 대한 Wigner 함수

그림 3. 이중슬릿을 통과한 beam의 Wigner 함수

참고문헌

1. Eran Mukamel, Optics Letters 28, 1317 (2003)