L-shaped knife edge를 이용한 대물렌즈의 초점 부근에서 빔의 세기분포 측정

Measurement of beam intensity distribution in the focal region using L-shaped knife edge

전형수, 이상범, 이재형, 안경원
서울대학교 물리학과
chonhs@photon.snu.ac.kr

대물렌즈에 의한 초점 부근의 빔 세기분포의 측정은 CD나 DVD 같은 레이저를 이용한 데이터 스토리지의 발전이나 공초점 혹은 이광자 흡수 현미경 같은 3차원 이미징이 가능한 현미경의 발전과 더불어 그 중요성이 더해지고 있다. 이같은 중요성으로 인해 초점부근의 빔 세기분포를 측정하기 위해서 tapered fiber[(1)]나 pinhole 혹은 knife edge[(2)]를 이용한 다양한 방법들이 연구되었다. 본 연구에서는 knife edge를 개량하여 더욱 간단하고 정확한 측정이 가능한 L-shaped knife edge를 이용한 측정방법을 개발하고 이를 검증하는 실험을 하였다. 이를 위해서 L-shaped knife edge를 제작하였다. L-shaped knife edge를 제작하기 위해서 sapphire기판 위에 0.3um두께로 금을 코팅하였고 전자빔(E-beam)을 사용하여 한 변의 길이가 10um인 정사각형 구조 내부의 코팅된 금을 제거하는 방식을 사용하였다. 그림1은 대물렌즈의 초점평면에서 빔 세기분포를 측정하기 위해서 사용된 L-shaped knife edge의 현미경 이미지이다. 실제 L-shaped knife edge는 그림1의 정사각형 구조($10um \times 10um$)에서 한쪽 모서리부분을 말하는 것이며, 스캔에 사용된 부분은 정사각형 구조에서 오른쪽 아래에 있는 모서리부분이다.

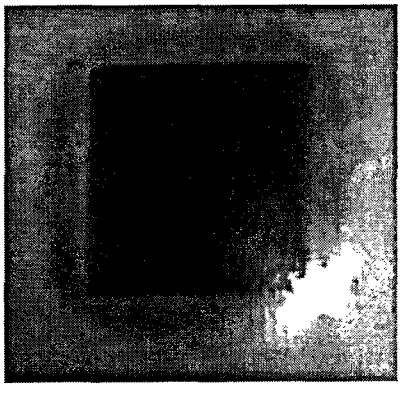

그림1. L-shape knife-edge image

대물렌즈의 초점평면에서 실제 빔의 세기분포를 측정하기 위해서 L-shaped knife edge를 대물렌즈의 초점부근에 설치하고 L-shaped knife edge을 스캔하면서 L-shaped knife edge를 통과한 빔의 세기를 L-shaped knife edge의 위치에 따라 측정하여 빔의 세기분포를 얻었다. 입사광원으로는 He-Ne laser를 사용했으며, 대물렌즈는 NA=0.95인 대물렌즈(dry type, Olympus)를 사용하였다. 그림2.는 대물렌즈 초점평면에서 L-shaped knife edge를 $7um \times 7um$의 스캔영역으로 스캔하여 L-shaped knife edge를 통과한 빔의 세기 분포를 측정한 결과이다.

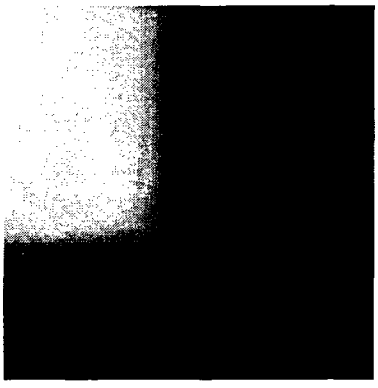

그림2. 초점평면에서 L-shape knife-edge을 통과한 빔의 세기분포

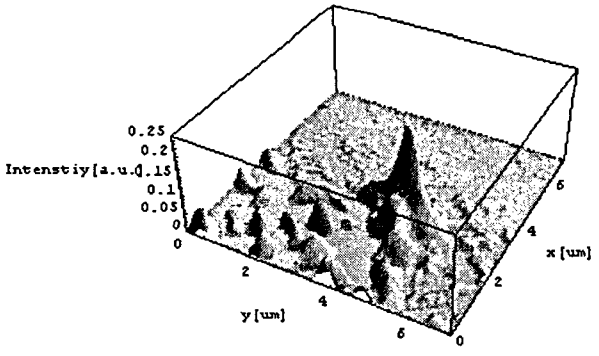

그림3. 그림 2로부터 복원된 초점평면에서의 beam 분포

그림2에서 L-shaped knife edge를 통과한 빔의 세기분포는 그레이레벨로 표현하였으며, L-shaped knife edge를 통과한 부분은 높은 값의 그레이레벨(하얀 부분)로 표시가 되었으며, L-shaped knife edge에 의해 가려진 부분은 낮은 값의 그레이레벨(검은 부분)로 표현되었다. 이상적인 경우에 L-shaped knife edge를 통과한 빔의 세기분포는 L-shaped knife edge가 열린 부분에서는 점점 그레이레벨이 증가하다가 일정한 크기의 그레이레벨로 유지가 되어야 한다. 그러나 실제 실험결과에서는 L-shaped knife edge가 열린 부분에서 그레이레벨이 불규칙적으로 변하는 구조가 있음을 알 수가 있다. 이는 L-shaped knife edge가 열린 부분이 광학적으로 일정한 투명도를 가져야 하는데 L-shaped knife edge를 제작하는 과정에서 L-shaped knife edge가 열린 부분이 위치에 따라서 불규칙한 투명도를 갖게 제작되었기 때문이다. 여기서 나타나는 작은 크기의 노이즈는 그림2를 2차원 미분해서 빔의 세기를 복원(그림3)하는 과정에서 매우 큰 영향을 미치고 있음을 그림3에서 알 수 있다. 그림3에서 알 수 있듯이 L-shaped knife edge가 열린 부분에서 유난히 큰 노이즈가 존재한다. 이러한 노이즈 때문에 그림3에서 결정된 빔의 크기(0.63um)는 이론 값(0.38um)과 비교적 많은 차이(66%)가 발생하였다.

knife edge를 개선한 L-shaped knife edge를 이용하여 대물렌즈 초점 부근의 빔 세기 분포측정이 가능함을 보였다. 그러나 L-shaped knife edge를 제작하는 과정에서 발생한 불규칙한 투명도로 인해 발생한 작은 크기의 노이즈가 빔 세기분포를 복원하는 과정에서 상당한 영향을 미침을 알 수 있었다. 이 문제점을 개선한다면 보다 정확한 빔 세기분포의 측정이 가능할 것이다.

참고문헌

1. S. K. Rhodes, K. A. Nugent, and A. Roberts, "Precision measurement of the electromagnetic fields in the focal region of a high-numerical-aperture lens using a tapered fiber probe", J. Opt. Soc. Am. A **19, 1689-1693 (2002).**
2. R. Oron, J. L. Guedalia, N. Davidson, A. A. Friesem, and E. Hasman, "Anomaly in a high-numerical-aperture diffractive focusing len", Opt. Lett. **25, 439-441 (2000).**