

공초점 자가 간섭 현미경을 이용한 분해능 향상

강동균*, 권대갑**

*한국과학기술원 기계공학과 Nano Opto-mechatronics 연구실,

** 한국과학기술원 기계공학과 교수 (나노스코프시스템즈(주) 대표이사)

초록

공초점 자가 간섭 현미경은 측정 광학계에 복굴절 물질을 사용하여 반사된 빛에 대해 간섭 현상을 일으키는 것을 특징으로 한다. 이 간섭을 자가 간섭이라고 부르는데, 이는 시편의 한 점에서 반사되어 나온 빛이 간섭을 일으키기 때문에 붙여진 이름이다. 공초점 자가 간섭 현미경의 점 확산 함수는 종래의 공초점 현미경의 점 확산 함수와 자가 간섭의 곱으로 나타나며, 자가 간섭의 주기가 종래의 공초점 현미경의 점 확산 함수의 중심폭보다 작은 경우 점 확산 함수의 중심폭이 작아져서 수평 방향으로의 분해능이 향상되게 된다. 이러한 분해능 향상 정도를 측정하기 위하여 지름이 100nm 인 금으로된 비드를 사용하였다. 측정된 결과는 전산모사한 결과와 잘 일치하며 공초점 자가 간섭 현미경에서 2배의 분해능 향상을 보여준다.

1. 서론

공초점 현미경은 광검출기 앞에 바늘구멍 개구를 둔 것을 특징으로 한다. 시편에서 반사 혹은 형광되어 나온 빛 중 대물렌즈의 초점에서 나온 빛만이 바늘구멍 개구를 통과하게 되어 깊이 분별력을 가지게 된다. 이러한 깊이 분별력 때문에 공초점 현미경은 시편의 3 차원 형상 정보를 측정할 수 있다. 또한 바늘 구멍 개구가 수평 방향으로의 분해능도 일부 향상시켜주는 효과가 있어 최근 산업체에서 이용되고 있는 공초점 현미경의 경우 100nm 에 가까운 수평 분해능을 가진다. 이러한 공초점 현미경은 반도체 및 평판 영상 출력 장치 (FPD, Flat panel display)산업에서 특징 치수의 측정, 불량 검사 등에 널리 이용되고 있다. 특히 평판 영상 출력 장치의 컬러 필터의 깊이 측정, 내부 불순물에 의한 결함 측정 등의 검사가 가능하다는 장점이 있다. 그러나 이러한 공초점 현미경의 수평 분해능은 여전히 회절에 의하여 한계지어지며 100nm 이하의 분해능을 얻기는 힘들다는 단점이 있다. 이를 해결하기 위한 방법으로 공초점 자가 간섭 현미경이 제안된바 있다.[1] 공초점 자가 간섭 현미경은 반사광에 대해 간섭을 일으켜 수평 방향 분해능을 향상시킨다. 본 논문에서는 공초점 자가 간섭 현미경에서 획득할 수 있는 수평 방향으로의 분해능 향상을 점 물체를 이용하여 실험적으로 검증한다.

2. 공초점 자가 간섭 현미경의 원리

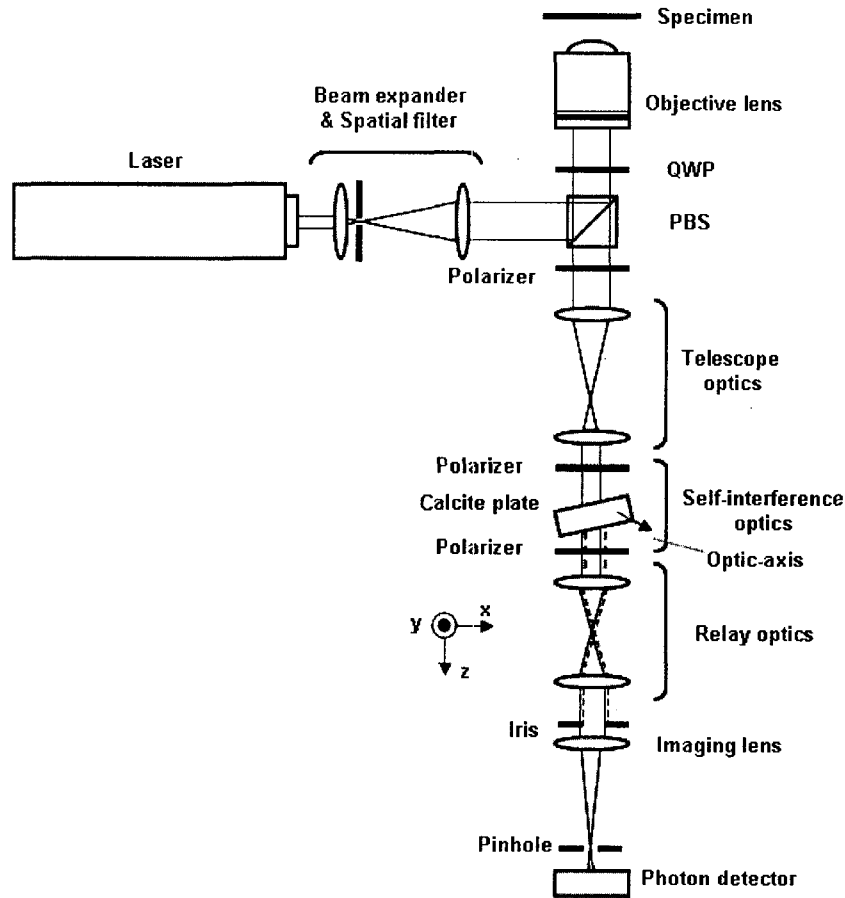


그림 1 공초점 자가 간섭 현미경의 구조

공초점 자가 간섭 현미경의 구조는 그림 1과 같다. 그림 1에 도시된 바와 같이 전반적인 구조는 기존의 공초점 현미경과 동일하다. 그러나 자가 간섭 광학계 (Self-interference optics)가 측정 광학계측에 위치한다는 점이 특징적이다. 자가 간섭 광학계는 두 개의 편광판과 하나의 방해석 파장판으로 구성되어 있다. 반사되어온 빛은 첫번째 편광판을 거치면서 S 편광과 P 편광을 동일한 양만큼 가지는 편광상태가 된다. 이 빛이 방해석 파장판을 통과하게 되는데, 방해석은 복굴절 특성을 가지기 때문에 P 편광된 빛과 S 편광된 빛이 각기 다른 각도로 꺾여서 진행하게 된다. 또한 각기 다른 편광의 빛이 꺾는 굴절률이 다르기 때문에 방해석 파장판을 통과하면서 꺾는 광경로가 각기 달라지게 된다. 이때 서로 다른 편광의 빛이 가지는 광경로의 차이는 입사한 빛의 각도의 함수로 나타나게 되며, 입사각은 시편 평면에서 반사체의 위치에 의해 결정되게 된다. 결국 시편 평면에서 반사체의 위치에 따라 자가 간섭 광학계를 통과할 때 발생하는 광경로가 달라지게 되는 것이다. 이를 이용하면 반사광에 대하여 간섭 현상을 만들어 낼 수 있는데, 이 간섭을 자가 간섭이라고 부른다. 시편 상의 한 점에서 나온 빛이 간섭을 일으키기 때문에 붙여진 이름이다.

공초점 자가 간섭의 점 확산 함수는 아래의 식과 같이 주어진다. [2]

$$h_{s,i}(v, v_i) = h_m(v, v_i)[1 + \exp(ic_p v_i)] \quad (1)$$

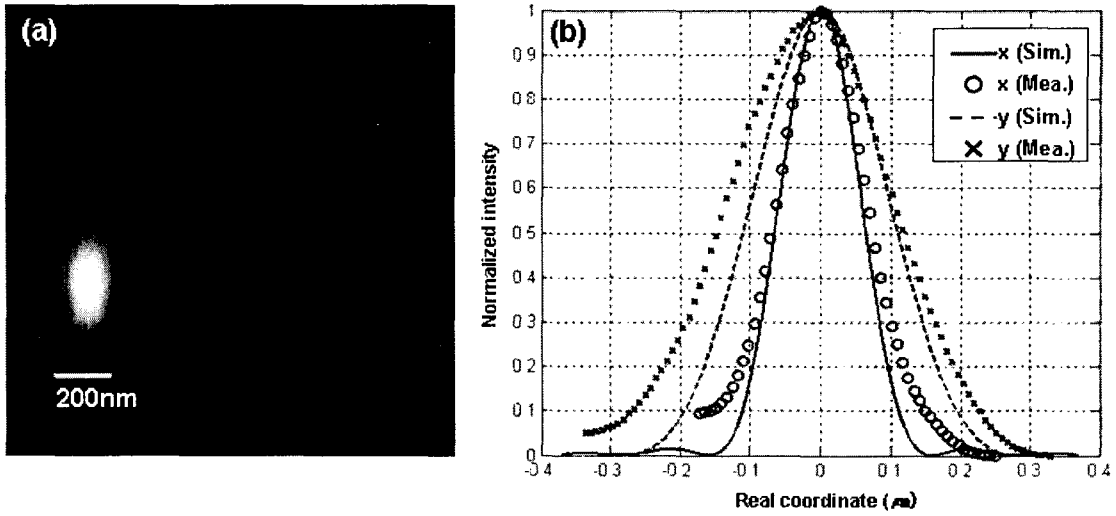


그림 2 공초점 자가 간섭 현미경의 점 확산 함수: (a) 2차원 영상, (b) x, y 각 방향으로의 단면 영상

여기서 h_{sim} 은 공초점 자가 간섭 현미경의 점 확산 함수를, h_{cm} 은 종래의 공초점 현미경의 점 확산 함수를, $[1 + \exp(ic_{sv})]$ 는 자가 간섭을 나타낸다. 즉 공초점 자가 간섭 현미경의 점 확산 함수는 종래의 공초점 현미경의 점 확산 함수와 자가 간섭의 곱으로 나타내어지는데, 자가 간섭의 주기가 종래의 공초점 현미경의 점 확산 함수가 가지는 중심폭보다 작은 경우, 공초점 자가 간섭 현미경의 점 확산 함수가 가지는 중심폭이 더 좁아져 분해능이 향상된다.

3. 점 확산 함수 측정 실험

본 논문에서는 공초점 자가 간섭 현미경의 점 확산 함수를 실험적으로 측정하기 위하여 점 물체를 사용하였다. 이상적인 점 물체의 경우 반사되는 광량이 적어 실험적으로 점 확산 함수를 측정하기에 어렵다는 단점이 있어, 본 논문에서는 지름이 100nm 인 금으로 된 비드를 사용하여 점 확산 함수를 측정하였다. 100nm 지름의 비드를 이용하여 측정한 점 확산 함수는 이상적인 상황에서 측정한 점 확산 함수를 추정하는데 유용하게 쓰인다.[3]

그림 2 (a)는 100nm 지름의 비드를 측정한 2 차원 영상을 보여준다. 도시된 바와 같이 자가 간섭이 일어나는 x 방향으로의 폭이 자가 간섭이 일어나지 않는 y 방향으로의 폭보다 좁아, x 방향으로 수평 분해능이 향상되었음을 보여준다. 그림 2 (a)의 점 확산 함수의 단면을 본 것이 그림 2 (b)이다. 도시된바와 같이 x 방향으로의 폭이 y 방향으로의 폭보다 좁음을 알 수 있다. 이때 x, y 각 방향으로의 폭은 134nm, 263nm 로 자가 간섭을 사용하는 경우 분해능이 2 배 향상됨을 알 수 있다. 또, 실험 결과는 전산 모사 결과와 잘 일치하는 것을 볼 수 있는데, x, y 각 방향으로 각기 4%와 20%의 차이를 보인다. 이러한 차이는 광학계가 가지는 수차에서 기인한 것으로 분석된다.

4. 결론

본 논문에서는 공초점 자가 간섭 현미경의 수평 분해능 향상을 점 확산 함수의 실험적 측정을 통하여 검증하였다. 측정된 점 확산 함수는 공초점 자가 간섭 현미경을 이용하는 경우 2 배의 분해능 향상이 가능함을 보여주고 있으며, 이론적으로 추정된 결과와도 잘 일치한다. 이러한 공초점 자가 간섭 현미경은 기존의 공초점 현미경의 분해능을 향상시켜 반도체 및 평판 영상 출력 장치 산업의 다양한 분야에서 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단에서 시행한 지역전략산업 석박사 연구인력 양성사업의 연구비 지원으로 수행되었으며 관계자 분들께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] D. Kang and D. Gweon, "Enhancement of lateral resolution in confocal self-interference microscopy", Optics Letters, 28, pp.2470-2472, 2003
- [2] D. Kang and D. Gweon, "Two-dimensional imaging theory of confocal self-interference microscopy", Journal of Optical Society of America, A, 22, pp.2737-2745, 2005
- [3] 16. P. Török, P. D. Higdon, R. Juškaitis, and T. Wilson, "Optimising the image contrast of conventional and confocal optical microscopes imaging finite sized spherical gold scatterers", Opt. Comm. 155, pp.335-341, 1998