

입사광의 편광 변조에 따른 통한 고 개구 렌즈의 초점광 세기

Focal Intensity Profile of Polarizing-Modulated Incident Light by High Aperture Lens

이신욱, 공홍진, 정병제, 전병구

한국과학기술원 물리학과

vexgriff@gmail.com

레이저 가공 및 레이저광을 이용한 리소그래피등에서 초점광의 세기 분포는 가공된 패턴의 제작 분해능을 결정한다. 게다가 나노미터 수준의 가공을 하기 위해서는 초점광을 모으는 렌즈는 높은 개구수를 갖는다. 높은 개구수에 의한 초점광 세기 분포는 일반적으로 구할 수 있는 낮은 개구와는 다른 형태를 갖는다. 특히나 원형 개구에서는 편광에 상관없이 평사의 파면을 갖는 단일 파장의 입사광에 대해서는 에어리 함수를 갖고 초점 평면에 대해서는 원형 대칭한 형태를 띄지만 높은 개구의 경우에는 이러한 대칭성이 어긋난다. 동일한 위상을 갖고 한 방향 (x 축)으로 편광된 입사광이 고 개구수를 갖는 렌즈에 의해 초점으로 모아질 때, 그림 1. (a)(b)과 같이 모아지는 각도에 따라 편광 방향이 x 축 성분 이외의 성분을 갖게 된다. 이러한 여러 편광 성분은 렌즈에 의한 회절을 통해 초점 평면 상에서 그림 1. (c)와 같은 원형 대칭이 아닌 타원의 초점광 분포를 구성하게 된다. 3차원적으로 고려하면 타원체의 초점광 세기 분포를 갖는다.

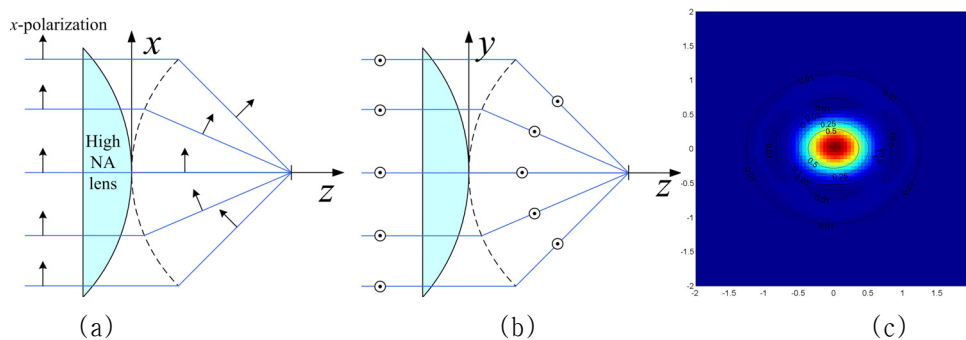


그림 1. x 축 편광된 입사광이 고개구 렌즈를 통과후 (a) $x-z$ 평면, (b) $y-z$ 평면에서 나타나는 편광 변화. (c) 최대 초점각이 60° 일 때, x 축 편광에 의해 나타나는 초점평면에서의 세기 분포.

이러한 초점광 세기 분포는 높은 개구 렌즈를 통한 레이저의 포커싱이나 이를 이용한 레이저가공의 제작분해능에 영향을 미친다. 이러한 영향을 최소화 하기 위해서는 입사광의 변조가 필요하다. 지금까지 입사광의 변조는 세기 변조 또는 위상 변조를 주로 하였다(1). 하지만 위와 같은 초점광 세기 분포가 나오는 현상은 그 원인이 입사광의 세기 또는 위상 분포에 기인한 것이 아니라 편광에 기인한 것이기 때문에 입사광의 편광 변조를 통해서 이러한 문제를 해결하고자 한다. 입사광의 파면을 세 개의 고리형 영역 (가운데 부분은 원형)으로 나누

어 각각의 편광을 이웃한 편광과 수직하게 배열한다. 그림. 2처럼 Zone I에서는 x축 편광, Zone II에서는 y축 편광, 그리고 Zone III에서는 x축 편광으로 설정한다. 각 영역의 크기는 파면이 렌즈를 통해 입사하는 초점각에 따라 결정되는데, Zone I은 $0^\circ \sim a_1^\circ$, Zone II는 $a_1^\circ \sim a_{II}^\circ$, Zone III는 $a_{II}^\circ \sim a^\circ$ 로 각 영역에 따른 초점각이 결정되고 이를 바탕으로 벡터 회절 적분을 통해 초점광 세기분포를 구할 수 있다. 벡터 회절 적분은 B. Richard와 E. Wolf의 논문을 근거로 하였다.

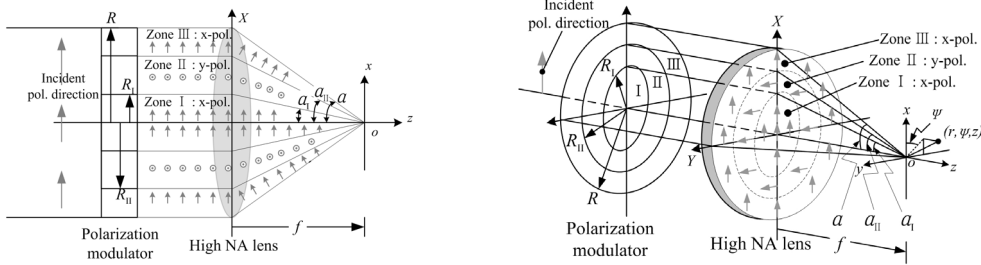


그림 2. 세 개의 구분된 편광 영역을 가진 입사광이 고 개구 렌즈를 통해 최대 초점각 a° 으로 모아짐. 각각의 영역(I, II, III)는 최대 초점각내 각도 a_1° , a_{II}° 으로 결정됨

최대 초점각이 60° 인 렌즈를 x축 선형 편광된 빛이 통과할 때, 초점 평면상에서의 세기 분포는 타원 형태(그림. 1(c))를 갖고 장축과 단축의 비는 1.32:1이다. 이러한 타원 형태를 개선하기 위해 처음 두가지 편광 영역 설정을 임의로 입력하여 이로 인한 초점광 세기 분포를 계산하였다. 첫 번째 경우로 a_1 이 10° , a_{II} 이 40° 일 때, 초점광 세기 분포는 그림 3. (a)와 같다. 어느 정도 세기 분포는 변했지만 아직까지 타원의 형태를 유지하고 있다. 반치폭의 장축과 단축의 비는 1.22이다. 두 번째 경우로 a_1 이 20° , a_{II} 이 48° 일 때, 초점광 세기 분포는 그림 3. (b)와 같고 이때에는 초점광 세기 분포가 거의 원형에 가깝게 보여지고 있다. 반치폭의 장축과 단축의 비는 1.06이다. 이와 같은 원형 형태를 띄는 최적화된 조건을 찾을 수 있을뿐더러, 광축방향으로도 초점광 세기 분포가 기존에 비해 길거나 짧은 조건 역시, 이러한 편광 변조를 통한 고개구 렌즈의 회절적분 계산을 통해 최적화된 조건을 찾을 수 있다.

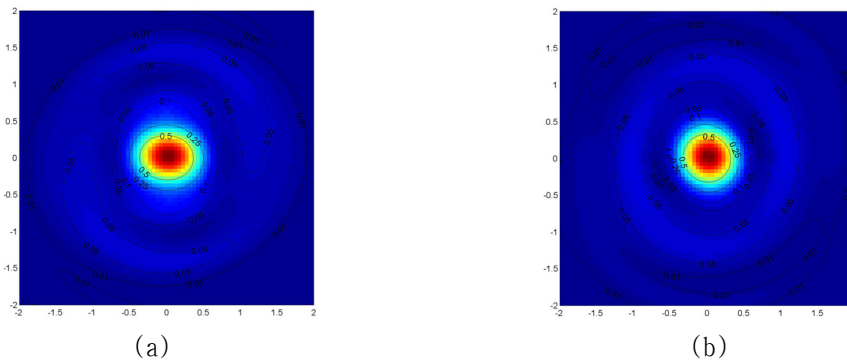


그림 3. 최대 초점각이 60° 이고 (a) a_1 이 10° , a_{II} 이 40° 일 때, (b) a_1 이 20° , a_{II} 이 48° 일 때의 초점평면에서의 초점광 세기 분포

참고 문헌

1. H. Wang and F. Gan, "High focal depth with a pure-phase apodizer", App. Opt. 40 (31), 5658–5662 (2001)
2. B.Richard and E.Wolf, "Electromagnetic Diffraction in Optical Systems. II. Structure of the Image Field in an Aplanatic System", Proc. Roy. Soc. London A, 253 (1274),358–379 (1959).