

양자화 된 위상구조의 빔 성형 회절광학소자 제작에 대한 연구

The study on DOE fabrication for beam shaping with quantized phase profile

박진홍, 김휘, 양병춘, 한승훈, 변경민, 이병호
 국가지정 홀로그래피 기술 연구실
 서울대학교 공과대학 전기공학부
 byoungcho@plaza.snu.ac.kr

1. 서론

홀로그래피 기술을 이용한 회절광학소자(diffractive optical element)는 일반적으로 높은 회절효율로 원하는 세기분포를 가지는 빔의 모양을 생성할 수 있기 때문에 빔 성형, 광 연결, 다중 초점 생성, 광 신호처리 등의 다양한 응용분야에 사용되고 있다. 회절광학소자 설계에는 다양한 방법들이 제안되어 있으며, 반복 푸리에 변환 알고리즘(iterative Fourier transform algorithm)과 이의 변형된 알고리즘이 많이 사용되고 있다. 본 논문에서는 반복 푸리에 변환 알고리즘을 이용하여 임의의 세기분포를 갖는 회절광학소자를 설계하였고, 반도체 공정을 적용하여 양자화 된 8 단계 위상구조를 갖도록 제작하였다.

2. 본론

(1) 회절광학소자의 설계

회절광학소자의 생성과 최적화에 사용되는 반복 푸리에 변환 알고리즘은 임의의 초기 위상분포와 원하는 세기패턴을 초기조건으로 하여 회절광학소자 면과 상 평면에 대해 순, 역 푸리에 변환을 반복함으로써 회절광학소자 면에 위상을 결정하고 최적화 한다.^(1,2) 계산과정을 통해 생성된 연속적인 위상의 회절광학소자를 8단계의 양자화 된 위상구조를 갖도록 하였다. 본 논문에서 650nm 파장에서 회절광학소자의 반경은 3mm, 초점거리 2m, 빔의 세기패턴이 4cm×4cm 크기의 "SNU" 형태를 갖도록 설계하였다. 그림 1에 생성된 회절광학소자의 8단계 양자화 된 위상구조를 나타내었다.

(2.) 회절광학소자의 제작

광 리소그래피 기술을 이용하여 제작하였고 8단계의 양자화 된 위상구조를 갖도록 하기 위해 3장의 이진마스크를 사용하였다. 설계된 연속적인 위상을 이진 데이터로 각각 구분하여 마스크 데이터를 생성하였고, 크롬막이 코팅되어 있는 유리기판 위에 전자빔 리소그래피로 노광하여 3장의 이진마스크를 제작하였다. 각 마스크를 포토레지스트가 입혀져 있는 석영기판에 광 리소그래피를 이용하여 등배근접노광 방법으로 노광, 현상하였다. 8단계의 양자화 된 위상구조를 얻기 위해서 플라즈마를 이용한 반응성이온 식각으로 석영기판을 반복 건식식각 하였다. 양자화 된 각 단계의 식각 깊이를 조절함으로써 위상을 조절할 수 있으며, 식각 깊이(d)와 파장(λ), 위상변화(θ) 및 굴절률(n)의 관계는 식 $d = \lambda\theta / [2\pi(n-1)]$ 으로 표현될 수 있다. 식각 깊이는 양자화 된 위상이 2 단계인 경우 1857Å, 4 단계인 경우 3714Å, 8 단계인 경우 7418Å을 각각 식각하였고, 식각 오차는 약 300Å, 위상 오차는 약

9° 이다.

(3) 결과 및 고찰

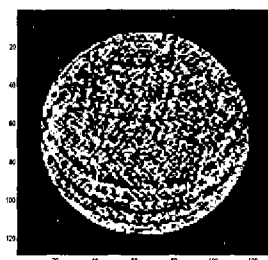
레이저 빔을 이용하여 측정된 출력빔은 초기조건과 동일한 크기와 형상을 갖는 것으로 측정되어 설계와 일치하는 것으로 나타난다. 그러나 출력빔이 스펙클 패턴으로 이루어져 있으며 부분적으로 왜곡되어 있는 것을 알 수 있다(그림 2). 스펙클의 생성은 결맞는 빔의 사용과 빔 성형에서 연속적인 신호가 주어지는 경우 한 점에서의 위상의 변화가 주위의 세기 변화에 영향을 주기 때문이다.⁽³⁾ 위상변화와 상 왜곡은 제작공정에서 기인되는 식각률과 정렬도의 차이에 의해 증가되며, 균일도와 회절효율에 큰 영향을 미치게 된다.⁽⁴⁾ 부분적으로 결맞는 레이저를 사용하는 경우 균일한 세기분포를 얻을 수 있으며,⁽⁵⁾ 양자화에서 기인되는 오차의 감소와 식각률과 정렬도의 향상을 통해 패턴의 충실도를 향상시킬 수 있다.

3. 결론

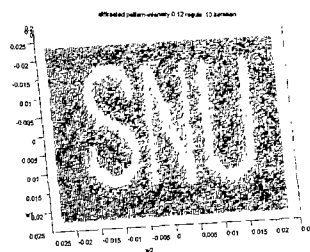
반복 푸리에 변환 알고리즘과 리소그래피 공정으로 회절광학소자를 설계, 제작하였다. 실험을 통하여 원하는 세기분포를 갖는 출력 빔의 형상을 얻음으로써 빔의 형상을 조절할 수 있었고, 회절광학소자 제작에 필요한 단위공정도 확립할 수 있었다. 설계기술 및 공정능력을 기반으로 공정오차 감소와 빔 균일도 향상을 통해 다양한 응용분야에 적합한 회절광학소자를 제작할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. V. V. Kotlyar, P. G. Seraphimovich, and V. A. Soifer, "An iterative algorithm for designing diffractive optical element with regularization," *Optics and Laser in Engineering*, vol 29, pp. 261-268, 1998.
2. 김휘, 양병춘, 박진홍, 이병호, "회절광학소자 설계를 위한 반복 푸리에 알고리즘의 최적활용에 대한 연구," 제8회 광전자 및 광통신 학술회의, pp. 357-358, 2001.
3. J. Turunen and F. Wyrowski, *Diffractive Optics for industrial and commercial applications*, Akademie Verlag, 1997, pp. 28-34.
4. K. Kodate, Y. Orihara, and W. Klaus, "Toward the optimal design of binary optical elements with different phase levels using a method of phase mismatch correction," *Proceeding of Diffractive Optics and Micro-Optics*, pp. 174-176, 2000.
5. M. Beyerlein and J. Schwider, "Comparing beam-shaping CGHs for coherent and partially coherent light," *Proceeding of Diffractive Optics and Micro-Optics*, pp. 29-31, 2000.



[그림 1] 양자화된 8단계 위상구조



[그림 2] 회절광학소자 측정결과 (좌:설계, 우:측정)